, ATENT COOPERATION TREA, Y

	From the INTERNATIONAL BUREAU
PCT	То:
NOTIFICATION OF ELECTION (PCT Rule 61.2)	Assistant Commissioner for Patents United States Patent and Trademark Office Box PCT Washington, D.C.20231 ETATS-UNIS D'AMERIQUE
Date of mailing (day/month/year)	
04 October 2000 (04.10.00)	in its capacity as elected Office
International application No. PCT/EP00/01149	Applicant's or agent's file reference
International filing date (day/month/year)	Priority date (day/month/year)
11 February 2000 (11.02.00)	19 February 1999 (19.02.99)
Applicant	
KRAFT, Gerhard et al	
in the demand filed with the International Preliminary 16 August 2000 in a notice effecting later election filed with the International Preliminary	0 (16.08.00)
2. The election X was was not was not made before the expiration of 19 months from the priority da Rule 32.2(b).	ite or, where Rule 32 applies, within the time limit under

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland

Authorized officer

Claudio Borton

Telephone No.: (41-22) 338.83.38

Facsimile No.: (41-22) 740.14.35

		·
·		

VERTRAG ÜBERDIE INTERNATIONALE ZUSAMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

REC'D 2 0 JUN 2001

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

			(Million oo ana		
Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts			WEITERES VORGE		lung über die Übersendung des internationalen Prüfungsberichts (Formblatt PCT/IPEA/416)
10580-GSI					
Internationales Aktenzeichen			Internationales Anmelded	latum (<i>i ag/MonavJanr)</i>	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 19/02/1999
PCT/EP0			11/02/2000		19/02/1999
Internationa G21K1/04		entklassifikation (IPK) oder i	nationale Klassifikation und	IPK	,
G21K1/02	+				
Anmelder	Anmelder				
GESELLS	SCH	AFT FÜR SCHWERIO	NENFORSCHUNG M	IBH	
 Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt. 					
2. Diese	r BEF	RICHT umfaßt insgesamt	6 Blätter einschließlich	dieses Deckblatts.	
Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT). Diese Anlagen umfassen insgesamt 10 Blätter.					
3. Diese	_	cht enthält Angaben zu f			
1	M	Grundlage des Berichts	•		
	k⊠ ∐	Priorität	Gutachtone über Neube	sit erfinderische Täti	gkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
		_		it, etinidensche Tau	gkeit und gewerbhone / wwondbankeit
v	The state of the s			, der erfinderischen Tätigkeit und der zung dieser Feststellung	
VI		Bestimmte angeführte			
VII		Bestimmte Mängel der	internationalen Anmeldı	ung	
VIII	\boxtimes	Bestimmte Bemerkung	en zur internationalen A	nmeldung	
			·.	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Datum der I	Einreid	chung des Antrags		Datum der Fertigstellu	ung dieses Berichts
16/08/200	00			18.06.2001	
L	auftraç Euro D-80	nschrift der mit der internatio gten Behörde: päisches Patentamt 1298 München	-	Bevollmächtigter Bed Frisch, K	iensteter
Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656			s epmu d	Tal Nr. 140 90 2200	2550

THIS PACE BLANK USPO,

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP00/01149

I. Grundlage	des Berichts
--------------	--------------

۱.	Hinsichtlich der Bestandteile der internationalen Anmeldung (<i>Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten (Regeln 70.16 und 70.17)): Beschreibung, Seiten:</i>					
	1,4-	31	ursprüngliche Fassung			
	2,3		eingegangen am	28/11/2000	mit Schreiben vom	27/11/2000
	Pate	entansprüche, Nr.	.:			
	1-28	1	eingegangen am	28/11/2000	mit Schreiben vom	27/11/2000
	Zeic	hnungen, Blätter	•			
	1/9-	9/9	ursprüngliche Fassung			
2.	die i unte Die	nternationale Anm er diesem Punkt nic	he: Alle vorstehend genannten i neldung eingereicht worden ist, z chts anderes angegeben ist. den der Behörde in der Sprache	zur Verfügung	oder wurden in diese	r eingereicht, sofern
			Übersetzung, die für die Zwecke	der internatio	onalen Recherche eing	gereicht worden ist (nach
		die Veröffentlichu	ngssprache der internationalen	Anmeldung (r	nach Regel 48.3(b)).	
			Jbersetzung, die für die Zwecke 5.2 und/oder 55.3).	der internatio	nalen vorläufigen Prü	fung eingereicht worden
3.	Hins inte	sichtlich der in der rnationale vorläufig	internationalen Anmeldung offe ge Prüfung auf der Grundlage d	nbarten Nucle es Sequenzpr	eotid- und/oder Amir rotokolls durchgeführt	nosäuresequenz ist die worden, das:
		in der internationa	alen Anmeldung in schriftlicher F	orm enthalter	n ist.	
		zusammen mit de	er internationalen Anmeldung in	computerlesb	arer Form eingereicht	worden ist.
			nachträglich in schriftlicher Form			
			nachträglich in computerlesbare			
		Die Erklärung, da	nß das nachträglich eingereichte nalt der internationalen Anmeldu	schriftliche S	equenzprotokoll nicht	über den t, wurde vorgelegt.
		Die Erklärung, da	ւß die in computerlesbarer Form Lentsprechen, wurde vorgelegt.			

THIS PACK BLANK USTON

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP00/01149

4.	Aufg	grund der Änderunge	n sind folgende Unterlagen fortgefallen:		
		Beschreibung,	Seiten:		
		Ansprüche,	Nr.:		
		Zeichnungen,	Blatt:		
5.		angegebenen Gründ	ne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den len nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich ng hinausgehen (Regel 70.2(c)).		
		(Auf Ersatzblätter, d. beizufügen).	ie solche Änderungen enthalten, ist unter Punkt 1 hinzuweisen;sie sind diesem Bericht		
6.	Etw	aige zusätzliche Bem	erkungen:		
ш.	Kei	ne Erstellung eines	Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit		
1.	Folgende Teile der Anmeldung wurden nicht daraufhin geprüft, ob die beanspruchte Erfindung als neu, auf erfinderischer Tätigkeit beruhend (nicht offensichtlich) und gewerblich anwendbar anzusehen ist:				
		die gesamte internat	ionale Anmeldung.		
	\boxtimes	Ansprüche Nr. 19-28	3.		
Ве	grün	idung:			
	×	Die gesamte interna nachstehenden Geg (genaue Angaben): siehe Beiblatt	tionale Anmeldung, bzw. die obengenannten Ansprüche Nr. 19-28 beziehen sich auf der enstand, für den keine internationale vorläufige Prüfung durchgeführt werden braucht		
		Die Beschreibung, o oder die obengenan konnte (<i>genaue Ang</i>	lie Ansprüche oder die Zeichnungen (<i>machen Sie hierzu nachstehend genaue Angaben</i> nten Ansprüche Nr. sind so unklar, daß kein sinnvolles Gutachten erstellt werden paben):		
		Die Ansprüche bzw. gestützt, daß kein si	die obengenannten Ansprüche Nr. sind so unzureichend durch die Beschreibung nnvolles Gutachten erstellt werden konnte.		
		Für die obengenann	ten Ansprüche Nr. wurde kein internationaler Recherchenbericht erstellt.		
2.	und	e sinnvolle internatior l/oder Aminosäurese spricht:	nale vorläufige Prüfung kann nicht durchgeführt werden, weil das Protokoll der Nukleotid quenzen nicht dem in Anlage C der Verwaltungsvorschriften vorgeschriebenen Standard		
		Die schriftliche Forn	n wurde nicht eingereicht bzw. entspricht nicht dem Standard.		
		Die computerlesbar	e Form wurde nicht eingereicht bzw. entspricht nicht dem Standard.		

THIS PACE BLANK WORK,

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP00/01149

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit (N)

Ja: Ansprüche

1-18

Nein: Ansprüche

Erfinderische Tätigkeit (ET)

Ja: Ansprüche

Nein: Ansprüche 1-18

Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)

Ja: Ansprüche

1-18

Nein: Ansprüche

2. Unterlagen und Erklärungen siehe Beiblatt

VIII. Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Zur Klarheit der Patentansprüche, der Beschreibung und der Zeichnungen oder zu der Frage, ob die Ansprüche in vollem Umfang durch die Beschreibung gestützt werden, ist folgendes zu bemerken: siehe Beiblatt

THIS PACE BLANK USPIC,

In diesem Bericht werden die im internationalen Recherchenbericht zitierte Druckschrift D1=EP-A-779.081, D2=EP-A-417.965, D3=GB-A-1.362.678, D4=WO-96/19262 und D5=EP-A-94.278 genannt.

Zum Teil III: kein Gutachten bezüglich der Ansprüche 19-28:

Die Ansprüche 19-28 betreffen jeweils ein Verfahren zum Ionenstrahl-Abtasten. Es ist aus der Beschreibung (siehe z.B. Seite 8, 2. Absatz; Seite 15, Zeilen 1-3) klar, daß ein solches Verfahren ein therapeutisches Verfahren zur Behand-lung eines menschlichen Körpers umfaßt. Für solche therapeutische Verfahren muß kein Gutachten erstellt werden (Artikel 34.4.a.i und Regel 67.1.iv PCT).

Zum Teil V: Neuheit; erfinderische Tätigkeit; gewerbliche Anwendbarkeit:

Die in Anspruch 1 angegebene Formulierung "eine strahlintensitätskontrollierte 1. Tiefen-Rasterung" impliziert kein Merkmal des beanspruchten Gegenstands in klarer Weise (Artikel 6 PCT); diese Formulierung gibt anscheinend lediglich die Wirkung der Absorptionskeile an und sie wird deshalb für die nachfolgende Beurteilung der Neuheit und der erfinderischen Tätigkeit nicht in Betracht gezogen. Auch die Wörter "schnell" ("in schneller Folge", "zum schnellen Antrieb") und "leistungsstark" ("einen leistungsstarken Linearmotor") werden nicht berücksichtigt (PCT Richtlinien III, 4.5).

D1 (Abbildungen 1, 6; Spalte 7, Zeile 54 - Spalte 8, Zeile 12) erwähnt ein Ionenstrahlabtastsystem mit den im Oberbegriff des Anspruch 1 aufgeführten Merkmalen (Ionenquelle, Ionenbeschleuniger 100, Ionenstrahlführung 170, Austrittsfenster, Ausrichtsystem 110). Das in D1 beschriebene System umfaßt darüber hinaus im Ionenstrahlgang zwischen Zielvolumen und Austrittsfenster quer zum Ionenstrahl angeordnete verschiebliche Absorptionskeile ("range shifters" 500). Durch Querverschiebung dieser Keile wird eine in die Tiefe gestaffelte Abtastung von Volumenelementen eines Tumorgewebes ermöglicht.

D1 erwähnt daher alle Merkmale des Anspruchs 1, die klar sind, außer daß in D1 anscheinend kein Linearmotor zum Antrieb der Absorberkeile erwähnt wird. Der in Anspruch 1 definierte Gegenstand, soweit dessen Merkmale klar sind, wird somit

THIS PAGE BLANK (USPTO)

als neu gegenüber diesem Stand der Technik angesehen (Artikel 33.2 PCT). Die übrigen im internationalen Recherchenbericht genannten Druckschriften erwähnen kein Ionenstrahl-Abtastsystem mit Absorberkeilen, die von einem Linearmotor quer zum Ionenstrahl angetrieben werden können.

Der in Anspruch 1 - sowie in den abhängigen Ansprüchen 2-18 - definierte Gegenstand wird daher als neu im Sinne von Artikel 33.2 PCT angesehen.

- Der Unterschied zwischen dem in Anspruch 1 definierten Gegenstand und dem 2. Stand der Technik gemäß D1 besteht darin, daß gemäß Anspruch 1 ein Linearmotor zum Antrieb der Absorptionskeile vorgesehen ist. In D1 ist lediglich impliziert, daß die Keile verschoben werden können, die genaue Antriebsmittel sind nicht angegeben. Es ist jedoch für den Fachmann naheliegend, für diesen Zweck einen Linearmotor einzusetzen; die Vorteile eines solchen Motors sind dem Antriebsfachmann geläufig. Der Unterschied kann daher keine erfinderische Tätigkeit begründen, so daß der in Anspruch 1 definierte Gegenstand die Erfordernisse des Artikel 33.3 PCT nicht erfüllt.
- Die in den Ansprüchen 2-18 aufgeführten zusätzlichen Merkmale (Steuerung für 3. den Antriebsmotor, Randblenden, Patiententisch, Ionisationskammer, Gantry) sind anscheinend alle an sich bekannt (siehe die Druckschriften D1-D5) und können in Kombination mit den Merkmalen des Anspruch 1 keine erfinderische Tätigkeit im Sinne von Artikel 33.3 PCT begründen.

Zum Teil VIII: Klarheit

Anspruch 2 impliziert kein zusätzliches Merkmal des beanspruchten Abtastsystems - das Zielvolumen ist nicht Teil des Systems. Auch die in Anspruch 10 angegebene Definition der Intensität impliziert kein Merkmal des Abtastsystems. Die in Anspruch 20 erwähnten Absorberkeile sind in Anspruch 19 nicht introduziert worden. Anspruch 19 entspricht nicht dem Anspruch 1: Anspruch 19 erwähnt weder Absorptionskeile noch Linearmotor.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

1

PCT/EP00/01149 26.11.2000

Neue Patentansprüche

Ionenstrahl-Abtastsystem mit einer Ionenquelleneinrichtung, einem Ionenbeschleunigersystem, das auf eine für eine maximale Eindringtiefe notwendige Beschleunigung der Ionen einstellbar ist, und einer Ionenstrahlführung (1) mit Ionenstrahl-Austrittsfenster (2) für einen konvergierenden zentrierten Ionenstrahl (3) und einem mechanischen Ausrichtsystem (4) für das abzutastende Zielvolumen (5),

dadurch gekennzeichnet,

daß das Abtastsystem (6) ein Energieabsorptionsmittel (7) aufweist, das in dem Ionenstrahlengang zwischen Zielvolumen (5) und Ionenstrahl-Austrittsfenster (2) quer zum Ionenstrahlzentrum angeordnet ist und quer zum Ionenstrahlzentrum verschiebliche Absorberkeile (13), einen leistungsstarken Linearmotor (8) zum schnellen Antrieb der Absorberkeile (13) und eine strahlintensitätskontrolierte Tiefen-Rasterung unter Querverschiebung des Energieabsorptionsmittels (7) aufweist, so daß eine in der Tiefe gestaffelte Abtastung von Volumenelementen (9) eines Tumorgewebes (11) in schneller Folge durchführbar ist.

2. Ionenstrahl-Abtastsystem nach Anspruch 1, dadurch gekenn-zeichnet, daß das Zielvolumen (5) ein von gesundem Gewebe (10) umgebenes Tumorgewebe (11) ist, wobei die Eindringtiefe (12) des Ionenstrahls (3) durch die Energie der Ionen im Ionenstrahl (3) bestimmt ist und mittels der einstellbaren Beschleunigung der Ionen der tiefste Bereich des Tumorgewebes (11) erreichbar ist.

THIS PAGE BLANK (USPR)

2

PCT/EP00/01149 26.11.2000

- 3. Ionenstrahl-Abtastsystem nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Abtastsystem ein elektronisches Steuersystem (14, 34) für den Linearantrieb der Absorberkeile (13) aufweist und eine Ionisationskammer (16) zum Messen der Teilchenrate des Strahles umfaßt und die Absorberkeile (13) nach Erreichen einer vorbestimmten Teilchenzahl, die für jeden Tiefenschritt verschieden sein kann, um einen Schritt, vorzugsweise von 10 µm bis 100 µm, weiter zusammenfährt, so daß eine in der Tiefe gestaffelte Abtastung von Volumenelementen (9) des Zielvolumens (5) möglich ist.
- 4. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsmittel (7) mindestens zwei quer zum Ionenstrahlzentrum entgegengesetzt verschiebliche Absorberkeile (13) aufweist.
- 5. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Energie Absorptionsmittel (7) zwei quer zum Ionenstrahlzentrum (17) gegeneinander verschiebliche Absorberkeilpakete (18) aufweist.
- 6. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das System einen Randbegrenzer (20) mit verschieblichen Blendenelementen (21) zwischen dem Zielvolumen (5) und dem Energie Absorptionsmittel (7) aufweist.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

3

PCT/EP00/01149 26.11.2000

- 7. Ionenstrahl-Abtastsstem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnete daß das Abtastsystem irisblendenartig einzeln verstellbare Randblenden (19) zur teilweisen Randbegrenzung des Ionenstrahls (3) in bezug auf das Zielvolumen aufweist.
- 8. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Patiententisch (22) aufweist, der das Zielvolumen (5) trägt und der während eines Bestrahlungsvorganges in einer Ebene quer zum Ionenstrahl (3) in zwei Koordinateneinrichtungen verschiebbar ist.
- 9. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Patiententisch (22) aufweist, der das Zielvolumen (5) trägt und der während eines Bestrahlungsvorganges in einer lateralen Richtung quer zum Ionenstrahl (3) verschiebbar ist und Ablenkungsmagnete (23, 24, 25) aufweist, welche den Ionenstrahl (1) aus seiner Mittenposition am Austrittsfenster (2) quer zur lateralen Richtung des Patiententisches (22) ablenkt.
- 10. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität der Ionenstrahlabtastung durch die Summenzahl der Ionen, die in einem Volumenelement (9) auf treffen, definiert ist.
- 11. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Ionisationskammer (16) zur Messung der Strahl Intensität auf-

THIS PACK BLANK (1807)

4

PCT/EP00/01149 26.11.2000

weist, die stromaufwärts vom Energie Absorptionsmittel (7) angeordnet ist.

- 12. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Patiententisch (22) aufweist, der das Zielvolumen (5) trägt und während einer Bestrahlung in einer lateralen Richtung quer zum Ionenstrahl (3) verschiebbar ist und ein Gantry-System (27) aufweist, das quer zur lateralen Bewegungstichtung des Patiententisches (22) um eine Gantryrotationsachse drehbar ist.
- Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System (27) zum Aus-13. richten eines Ionenstrahls (3) auf ein Zielvolumen (5) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Ionenstrahl (3) in der Gantryrotationsachse (28) dem Gantry-System (27) zugeführt und mittels Magnetoptiken (23, 24, 25) unter einstellbaren Winkeln von 0 bis 360° in einer Ebene orthogonal zur Gantryrotationsachse (28) auf ein Zielvolumen (5) ausrichtbar ist, so daß der Ionenstrahl (3) die Gantryrotationsachse (28) in einem Isozentrum (29) des Gantry-Systems (27) schneidet, wobei das Gantry-System (27) einen lateral in Richtung der Gantryrotationsachse (28) verschieblichen Zielvolumenträger (30) aufweist, das Zielvolumen (5) stromaufwärts des Isozentrums (29) angeordnet ist und ein Energieabsorptionsmitte 1 (7), das stromaufwärts in Radialrichtung des Gantry-Systems (27) angeordnet ist, eine Volumenelementrasterung in Tiefenrichtung das Gantry-System (27) eine Drehwinkel-Volumenelementrasterung in Seitenrichtung und der lateral verschiebliche Zielvolumenträger (30) eine Volumenelementrasterung in Längsrichtung definieren und beliebig ge-

THIS PAGE BLANDE WE'VE

PCT/EP00/01149 26.11.2000

formte Zielvolumen (5) durch Kombination dieser drei Rastermittel volumenelementweise rasterbar ist.

- 14. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Zielvolumenträger (30) während der Bestrahlung unbewegt bleibt und Umlenkmagnete (23 r 24, 25) den Ionenstrahl (3) während der Bestrahlung in der Gantry-Ebene ablenken.
- 15. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System nach einem der Ansprüche 13 bis 14, dadurch gekennzeichnete daß das Energie Absorptionsmittel (7) tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems (27) verschiebliche Absorberkeile (13) aufweist .
- 16. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnete daß das Energieabsorptionsmittel (7) mindestens zwei tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems (27) entgegengesetzt verschiebliche Absorberkeile (13) aufweist.
- 17. Ionenstrahl-Abtastsstem mit Gantry-System nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsmittel (7) radial gestaffelte tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems (27) verschiebliche Absorberkeilpakete (18) aufweist.
- 18. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß ein zentraler Bereich des Ziel Volumens (5) um mindestens ein Fünftel des Gantry-Systemradius stromaufwärts des Isozentrums (29) angeordnet ist^ so daß das Zielvolumen (9) selbst nicht im Isozentrum (29) liegt.

THIS PHUE BLOWN NO.

б

PCT/EP00/01149 26.11.2000

19. Verfahren zum Ionenstrahl-Abtasten mittels einer Ionenquel-leneinrichtung, einem Ionenbeschleuniger-System und
einer Ionenstrahlführung (1) mit IonenstrahlAustrittsfenster (2) für einen konvergierenden zentrierten Ionenstrahl (3) und einem mechanischen Ausrichtsystem
(4) für das abzutastende Zielvolumen (5).

gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

Einstellen des Ionenbeschleuniger Systems auf eine für eine maximale Eindringtiefe (12) notwendige Beschleunigung der Ionen,

Erfassen der Ionenstrahl-Intensität,

Querverschieben eines Energieabsorbtionsmittels (7) mit unterschiedlicher Materialstärke zur Tiefenmodulation des Ionenstrahls (3),

Aufsummieren der Bestrahlungsionen eines Volumenelements (9) eines Zielvolumens (5) bis zu einer vorgegebenen Bestrahlungsdosis,

Ändern der Eindringtiefe des Ionenstrahls (3) mittels Querverschiebung des Energie Absorptionsmittel s (7) nach Erreichen der vorgegebenen Bestrahlungsdosis des Volumenelementes (9) zur Bestrahlung eines nächsten stromaufwärts liegenden Volumenelementes.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß ein elektronisches Steuersystem (14) für den Linearantrieb der Absorberkeile (13) die Teilchenrate des Strahles mittels einer Ionisationskammer (16) und die Absorberkeile (13) nach Erreichen einer vorbestimmten Teilchenrate, die für jeden Tiefenschritt unterschiedlich sein kann, um einen Schritt, vorzugsweise um 10 bis 100 µm weiter zusammenfährt, so daß eine in der Tiefe gestaf-

THIS PAGE BLANGE VOICE

PCT/EP00/01149 26.11.2000

felte Abtastung von Volumenelementen (9) des Zielvolumens (5) erfolgt.

- 21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität zwischen 10⁶ und 10⁸ absorbierten Tonen pro Volumeneinheit beim Abrastern des Zielvolumens (5) eingestellt wird.
- 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21 , dadurch gekennzeichnete daß die Abtastung des Zielvolumenvolumens (5) kontinuierlich fortschreitet.
- 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnete daß die Abtastung des Zielvolumens (5) in Tiefenrichtung säulenförmig erfolgt.
- 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung des Zielvolumens (5) schrittweise fortschreitet.
- 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung des Zielvolumens (5) in Tiefenrichtung kontinuierlich und in Seitenrichtung und Längsrichtung schrittweise erfolgt.
- 26. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung des Zielvolumenvolumens (5) in Tiefenrichtung und Seitenrichtung kontinuierlich und in Längsrichtung schrittweise erfolgt.
- Verfahren zum Betreiben eines Ionenstrahl-Abtastsystems nach einem der Ansprüche 19 bis 26 unter Verwendung eines Gantry-Systems (27) zum Ausrichten eines Ionenstrahls (3) auf ein Zielvolumen (5), wobei der Ionenstrahl (3) in der

THIS PAGE BLANK USTUI

PCT/EP00/01149 26.11.2000

> Rotationsachse dem Gantry-System (27) zugeführt und mittels Magnetoptiken (23, 24, 25) unter einstellbaren Winkeln von 0 bis 360° in einer Ebene ortnogonal zur Gantryrotati-onsachse (28) auf ein Zielvolumen (5) ausgerichtet wird, so daß der Ionenstrahl (3) die Gantryrotationsachse (28) in einem Isozentrum (29) des Gantry-Systems (27) schneidet, wobei das Gantry-System (27) einen lateral in Richtung der

> Gantryrotationsachse (29) verschieblichen Zielvolumenträger (30) aufweist,

gekennzeichnet durch die Verfahrenschritte: Anordnen des Zielvolumens (5) stromaufwärts des Isozentrums (29),

Volumenelementrastern in Tiefenrichtung mittels eines Energieabsorptionsmittels (7), das stromaufwärts in Radialrichtung des Gantry-Systems (27) angeordnet ist, Volumenelementrastern in Seitenrichtung mittels Drehwinkeländerung des Gantry-Systems (27) und Volumenelementrastern in Längsrichtung mittels Lateral Verschiebung des Zielvolumenträgers (30).

28. Verfahren zum Betreiben eines Ionenstrahl-Abtastsystems nach einem der Ansprüche 19 bis 26 unter Verwendung eines Gantry-Systems (27), bei dem ein Zielvolumenträger (30) vor der Bestrahlung ausgerichtet wird und während der Bestrahlung unbeweglich bleibt und der Ionenstrahl (3) mittels der letzten Gantry-Umlenkmagnete (23, 24, 25) in der Gantry-Ebene zur Volumenelementrasterung in Längsrichtung abgelenkt wird.

THIS PROFE BLANK USPID!

mung eingesetzt, die aber das Problem nicht zufriedenstellend lösen können. Derartige Strahlformungsvorrichtungen arbeiten mit einem divergenten Ionenstrahl, der ein größeres Gebiet als das Zielvolumen, d.h. als das Volumen des Tumors, bestrahlt, aber durch entsprechende Randbegrenzer und durch die Tumorkontur nachbildende Kompensationsformen aus Kompensationsmaterialien den divergenten Ionenstrahl auf das Tumorvolumen einengen. Derartige Anlagen und Methoden haben den Nachteil, daß eine hohe Ionenstrahlenergie für den divergenten Ionenstrahl erforderlich wird und nicht gezielt einzelne Volumenelemente eines Zielvolumens oder Tumors angesteuert werden können.

Um einzelne Volumenelemente gezielt ansteuern zu können und eine Strahlendosis für das Volumenelement optimal anpassen zu können, wurde eine Rasterscanvorrichtung für Ionenstrahlen entwickeln. Mit dieser Vorrichtung wird das Zielvolumen in Schichten gleicher Teilchenreichweite zerlegt und ein feiner, intensitätsgesteuerter Bleistiftstrahl aus Ionen rasterförmig über die einzelnen Schichten geführt. Zusammen mit der aktiven Energievariation durch einen Ionenbeschleuniger kann damit ein exaktes Ausleuchten in drei Dimensionen eines jeden beliebigen Zielvolumens erreicht werden.

Jedoch auch diese intensitatsgesteuerte Rasterscanvorrichtung hat erhebliche Nachteile. Zum einen ist ein aufwendiges Kontrollsystem zur Überwachung der Strahllokalisation im Mikrosekundenbereich erforderlich. Ferner besteht die Gefahr der Zerstückelung von Iscenergieschnitten durch Dichteninhomogenitäten. Ferner ist die Einhaltung der vorgegebenen lateralen Strahllage (Strahlschwerpunkt) insbesondere bei der Variation von Energie und Strahlbreite während einer Behandlung problematisch. Schließlich sind die Randabfalle des Zielvolumens, die von der Breite des Strahlprofils abhängen, nachteilig für eine präzise Bestrahlung des Zielvolumens.

1) Wie sie aus der Drückschrift EP 0779 081 AZ bekaunt ist.

THIS PACK BLANK USPIO

Diese Probleme führen dazu, daß die Einstellung und Kontrolle der Strahlparameter einer derartigen Vorrichtung ein Vielfaches der eigentlichen Patientenbestrahlung dauert. Darüber hinaus wird die Kombination von Rasterscanvorrichtung für Ionenstrahlen mit einem beweglichen drehbaren Ionenstrahlführungssystem der US-5,585,642, einem Gantry-System, wie es in Fachkreisen vorgeschlagen wird, eine erhebliche technische Herausforderung darstellen.

Bei einer Integration des Rasterscans in einem Gantry-System 40werden die Kontrollen noch langwieriger und noch aufwendiger als bei einer bisher realisierten starren Strahlführung. Außerdem werden Magnete mit großen Aperturen für die Integration der vorgeschlagenen Rasterscanvorrichtung benötigt, um praxisgerechte Größen bei den Bestrahlungsfeldern zu erreichen. Zusammen mit einer schnellen Energievariation schließen die großen Aperturen dieses Lösungsvorschlags und damit die notwendige Abschirmung der Streufelder die Verwendung von supraleitenden Magneten aus. Eine Integration eines Scannersystems führt somit zu großen Aperturen, d.h. zu großen Ablenkungsmagneten und langen raum- und kostenaufwendigen Gantry-Systemen. Bei einer Anordnung des Scannersystems hinter dem letzten Ablenkungsmagneten, also stromabwärts der Ionenstrahlführung und eines Austrittsfensters des Ionenstrahls aus dem Führungssystem sind zwar kleine Aperturen möglich, d.h. kompakte Magnete, können eingesetzt werden, dafür ergeben sich wegen der erforderlichen Driftlänge oder der lichten Weite für einen Behandlungsraum Gantry-Radien von über 7 m. In beiden Fällen müssen demnach nachteilig Massen von mehr als 100 Tonnen millimetergenau bewegt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile im Stand der Technik zu überwinden und insbesondere im Vergleich zu der vorgenik zu überwinden und insbesondere im Vergleich zu der vorgenik zu überwinden und insbesondere im Vergleich zu der vorgenik zu überwinden und insbesondere im Vergleich zu der vorgenik zu über der Vergleich zu der Vorgenik zu der Vergleich zu der Vergleich zu der Vorgenik zu der Vergleich zu d

THIS PACK BLANK USPRO,

Translation

PATENT COOPERATION TO ATY 9/890897

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference See Notification of Transmittal of International FOR FURTHER ACTION Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416) 10580-GSI Priority date (day/month/year) International application No. International filing date (day/month/year) PCT/EP00/01149 11 February 2000 (11.02.00) 19 February 1999 (19.02.99) International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G21K 1/04 Applicant GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONENFORSCHUNG MBH This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining 1. Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36. This REPORT consists of a total of _____ 6 sheets, including this cover sheet. 2. This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have X been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT). These annexes consist of a total of 11 sheets. This report contains indications relating to the following items: 3. Basis of the report Priority Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability Lack of unity of invention Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement CORRECTED Certain documents cited Certain defects in the international application VII VERSION Certain observations on the international application viii 🖂 Date of submission of the demand Date of completion of this report 14 September 2001 (14.09.2001) 16 August 2000 (16.08.00)

Authorized officer

Telephone No.

Name and mailing address of the IPEA/EP

Facsimile No.

THIS PAGE BLANK USPTO,

1

International application No.
PCT/EP00/01149

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

	I. Basis of the report					
1. This report under Article	has been drawn o	n the basis of in this report a	(Replacement sheets "originally filed"	ts which have been furnished to to and are not annexed to the rep	he receiving Office in response to an invitation port since they do not contain amendments.):	
	the international	application as	originally filed.			
\boxtimes	the description,	pages	1,4-31	_, as originally filed,		
				_, filed with the demand,		
					28 November 2000 (28.11.2000) ,	
		pages	<u> </u>	_, filed with the letter of _	·	
\bowtie	the claims,			, as originally filed,		
		Nos		, as amended under Article	e 19,	
		Nos		, filed with the demand,	1	
		Nos	2-28	, filed with the letter of _	28 November 2000 (28.11.2000) ,	
		Nos	1	, filed with the letter of	29 August 2001 (29.08.2001)	
\boxtimes	the drawings,	sheets/fig _	1/9-9/9	, as originally filed,		
		sheets/fig _		, filed with the demand,		
					,	
		sheets/fig _		, filed with the letter of		
2 The amend	lments have result					
	the claims,					
	the drawings,	sheets/fig _		-		
o to g	s report has been on beyond the disc	losure as filed	if (some of) the a , as indicated in t	mendments had not been mad he Supplemental Box (Rule 7	de, since they have been considered 0.2(c)).	
	,	•				
	•					
	•					
1						

THIS PAGE BLANK USPRO,

International application No.

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

PCT/EP00/01149

		regard to novelty, inventive step a	
The que industria	estions whether the claimed invention ally applicable have not been exa	tion appears to be novel, to involve a mined in respect of:	n inventive step (to be non obvious), or to be
	the entire international applicati	on.	
\boxtimes	claims Nos.	19-28	
because			
\boxtimes	the said international application relate to the following subject in	n, or the said claims Nos. natter which does not require an inter-	19-28 national preliminary examination (specify):
S	See supplemental	sheet.	
			·
		A STATE OF THE STA	
	.:	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	
	the description, claims or draw	ings (indicate particular elements bed ful opinion could be formed (specify)	low) or said claims Nos.

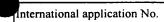
THIS PAGE BLANK USPRO,

٠,

the claims, or said claims Nos. by the description that no meaningful opinion could be formed.	are so inadequately supported
no international search report has been established for said claims Nos.	·

Form PCT/IPEA/409 (Box III) (January 1994)

THIS PACK BLANK USPTO,



INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

PCT/EP00/01149

Supplemental Box (To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)		
Continuation of Box III:		
·		
÷· ··		

THIS PACE BLANK TONE

7

International application No. PCT/EP 00/01149

Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: III.1

No opinion on Claims 19-28:

Claims 19-28 each relate to an ion beam scanning method. It is clear from the description (see e.g. page 8, second paragraph; page 15, lines 1-3) that such a method encompasses a method for treatment of the human body by therapy. No opinion is required on therapeutic methods of this kind (PCT Article 34(4)(a)(i) and Rule 67.1(iv)).

THIS PAGE BLANK USPIO,

International application No. PCT/EP 00/01149

25(2) with a sould to result it with a sould a police hilitary

Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement			
Statement Novelty (N)	Claims	1-18	YES
Novelty (IV)	Claims	1 10	NO
Inventive step (IS)	Claims	1-18	YES
,	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-18	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

This report makes reference to the following document cited in the international search report: D1: EP-A-0 779 081.

1. D1 is considered to be the closest prior art, as D1 (Figures 1 and 6; column 7, line 54 to column 8, line 12) mentions an ion beam scanning system with the features specified in the preamble of Claim 1 (ion source, ion accelerator 100, ion beam guide 170, outlet aperture, alignment system 110). The system described in D1 also encompasses movable absorption wedges ("range shifters" 500) which are disposed transversely to the ion beam in the ion beam path between the target volume and the outlet aperture.

D1 does not mention a linear motor to actuate the absorption wedges. Nor does D1 mention a feedback control circuit for driving the linear motor and having an ionisation chamber. The other documents cited in the international search report do not mention an ion beam scanning system with absorption wedges which can be actuated by a linear motor transversely to the ion beam. The subject matter

THIS PAGE BLANK USTO)

defined in Claim 1 is therefore considered to be novel over the relevant prior art (PCT Article 33(2)).

The subject matter defined in Claim 1, and in dependent Claims 2-18, is therefore considered to be novel (PCT Article 33(2)).

- 2. According to Claim 1 a linear motor is provided to actuate the absorption wedges and a feedback control circuit to control the linear motor. The feedback control circuit has an ionisation chamber which measures the particle rate in the beam upstream of the absorption wedges. This combination of features is not mentioned in any of the international search report citations. D1 merely implies that the wedges can be moved, but the precise means of actuating them are not indicated. The characterising features are not regarded as inherently self-evident. The subject matter defined in Claim 1 therefore involves an inventive step within the meaning of PCT Article 33(3).
- 3. The subject matter defined in Claims 2-18 comprises all the features of Claim 1. These claims therefore also meet the requirements of novelty and inventive step according to PCT Article 33(1)-(3).

THIS PAGE BLANK USTO)

VIII. Certain observations on the international application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

Clarity

Claim 2 does not define an additional feature of the scanning system claimed, since the target volume is not part of the system. The definition of intensity given in Claim 10 is likewise not a feature of the scanning system. The absorption wedges mentioned in Claim 20 were not introduced in Claim 19. Claim 19 does not correspond to Claim 1; it does not mention either absorption wedges or a linear motor.

Claim 1 has not been correctly delimited over the prior art described in D1 (PCT Rule 6.3(b)) - the absorption wedges mentioned in the characterising part of the claim were already described in D1 (Figure 6).

The description has not been brought into conformity with the present Claim 1 (PCT Rule 5.1(a)(iii)).

THIS PAGE BLANK USPRO,

Translation (190%) INTERNA

PATENT COOPERATION TIESTY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference 10580-GSI	FOR FURTHER ACTION	SeeNotificat Examination	ionofTransmittalofInternational Preliminary Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No.	International filing date (day/n	• ,	Priority date (day/month/year)	
PCT/EP00/01149	11 February 2000 (11	.02.00)	19 February 1999 (19.02.99)	
International Patent Classification (IPC) or no G21K 1/04, A61N 5/10	International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC			
Applicant GESELLSCH	IAFT FÜR SCHWERION	ENFORSC	HUNG MBH	
This international preliminary exami and is transmitted to the applicant ac	nation report has been prepared	by this Interna	ational Preliminary Examining Authority	
This REPORT consists of a total of	-	ng this cover sh	neet.	
This report is also accompanie	ed by ANNEYES is abases of	etha daca-i	n, claims and/or drawings which have been	
amended and are the basis for	this report and/or sheets contain Administrative Instructions und	ning rectificat	n, claims and/or drawings which have been ions made before this Authority (see Rule	
These annexes consist of a tot	al of 10 sheets.			
3. This report contains indications relati	ing to the following items:			
I Basis of the report				
II Priority	II Priority			
III Non-establishment of	f opinion with regard to novelty	, inventive step	p and industrial applicability	
IV Lack of unity of inve	ntion			
V Reasoned statement u	under Article 35(2) with regard tions supporting such statement	to novelty, inv	entive step or industrial applicability;	
VI Certain documents ci	ted			
VII Certain defects in the	international application			
VIII Certain observations	on the international application	·		
Date of submission of the demand	Date of	completion of	this report	
16 August 2000 (16.08	İ	-	une 2001 (18.06.2001)	
Name and mailing address of the IPEA/EP	Authori	zed officer		
Facsimile No.	Telepho	ne No.		

Form PCT/IPEA/409 (cover sheet) (July 1998)

THIS PACK BLANK USPRO.

hternational application No.

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

PCT/EP00/01149

I. Basis	I. Basis of the report					
1. With	regard to	the elements of the international application:*				
\square		rnational application as originally filed				
	the desc	cription:				
		1,4-31	, as originally filed			
l	pages		, filed with the demand			
1	pages	2,3 , filed with the letter of	27 November 2000 (27.11.2000)			
	-					
	the clai		as ariginally filed			
	pages	as amended (togeth	, as originally filed			
		, as amended (togethe	, filed with the demand			
	pages	1-28 , filed with the letter of	to the second se			
l	pages	1-28 , filed with the letter of				
	the draw					
ł	pages	1/9-9/9	, as originally filed			
	pages		, filed with the demand			
	pages	, filed with the letter of				
🗀	the seque	nce listing part of the description:				
`	pages		, as originally filed			
	pages					
	pages	, filed with the letter of				
the in Thes	the lan the lan or 55.3 regard minary e contair filed to furnish The st interna	guage of a translation furnished for the purposes of international search (under Figuage of publication of the international application (under Rule 48.3(b)). guage of the translation furnished for the purposes of international preliminar	which is: Rule 23.1(b)). ry examination (under Rule 55.2 and/ ational application, the international of go beyond the disclosure in the			
4.		nendments have resulted in the cancellation of:				
		the description, pages				
		the claims, Nos.	• .			
1		the drawings, sheets/fig				
5. 🔲	This rep	port has been established as if (some of) the amendments had not been made, the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).**	since they have been considered to go			
in th	acement . nis report 70.17).	sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invi t as "originally filed" and are not annexed to this report since they do t	tation under Article 14 are referred to not contain amendments (Rule 70.16			
		** Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.				

THIS PAGE BLANK U.S.

ternational application No.

PCT/EP00/01149

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

INIER	INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT PC1/EP00/01149				
III. Non-establ	III. Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability				
1. The question industrially	ons whether the claimed is applicable have not been e	nvention appears to be nove xamined in respect of:	el, to involve an inventive	step (to be non obvious), or to be	
the e	entire international applicat	tion.			
⊠ clair	ms Nos.	19-28			
because:					
the s	said international applications to the following subject	on, or the said claims Nos matter which does not require	19-28 e an international prelimina	} ry examination (specify):	
See	supplemental s	sheet			
the o	description, claims or draw	vings (indicate particular eler	nents below) or said claims	Nos	
⊔ are s	so unclear that no meaning	ful opinion could be formed	(specify):		
		_			
	÷				
the	claims, or said claims Nos.			are so inadequately supported	
by t	he description that no mea	ningful opinion could be form	ned.		
no i	nternational search report l	has been established for said	claims Nos.		
2. A meaningf	ul international preliminar	y examination cannot be car	rried out due to the failure	of the nucleotide and/or amino acid	
sequence lis	sting to comply with the sta	andard provided for in Annex furnished or does not comply	C of the Administrative In	Structions:	
the	written form has not been	iumsned of does not comply	will the standard.		

the computer readable form has not been furnished or does not comply with the standard.

THIS PACK BLANK USATO,

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

nternational application No. PCT/EP 00/01149

Sup	plem	ental	Box
-----	------	-------	-----

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: III.1

No opinion on Claims 19-28:

Claims 19-28 each relate to an ion beam scanning method. It is clear from the description (see e.g. page 8, second paragraph; page 15, lines 1-3) that such a method encompasses a method for treatment of the human body by therapy. No opinion is required on therapeutic methods of this kind (PCT Article 34(4)(a)(i) and Rule 67.1(iv)).

THIS PACK BLANK USPO,

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No. PCT/EP 00/01149

V.	Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability;
	citations and explanations supporting such statement

citations and explanations supporting such statement				
1. Statement				
Novelty (N)	Claims	1-18	YES	
	Claims		NO	
Inventive step (IS)	Claims		YES	
	Claims	1-18	NO NO	
Industrial applicability (IA)	Claims	1-18	YES	
	Claims		NO NO	

2. Citations and explanations

This report makes reference to the following international search report citations:

D1 = EP-A-0 779 081

D2 = EP-A-0 417 965

D3 = GB-A-1 362 678

D4 = WO-A-96/19262

D5 = EP-A-0 094 278.

1. The wording "beam intensity controlled depth scanning" in Claim 1 is not a clearly defined feature of the subject matter claimed (PCT Article 6). This wording merely appears to indicate the effect of the absorption wedges and has not therefore been considered in the assessment of novelty and inventive step below. The words "quick/rapid" ("in quick succession", "for rapid actuation") and "high-performance" ("a high-performance linear motor") have likewise not been considered (PCT Guidelines, Chapter III-4.5).

D1 (Figures 1 and 6; column 7, line 54 to column 8, line 12) mentions an ion beam scanning system with the features specified in the preamble of Claim 1

THIS PAGE BLANK USPRO,

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No. PCT/EP 00/01149

(ion source, ion accelerator 100, ion beam guide 170, outlet aperture, alignment system 110). The system described in D1 also encompasses movable absorption wedges ("range shifters" 500) which are disposed transversely to the ion beam in the ion beam path between the target volume and the outlet aperture. Transverse movement of these wedges enables volume elements of tumor tissue to be scanned at different depths.

D1 therefore mentions all the features of Claim 1 that are clear, although D1 does not appear to mention a linear motor to actuate the absorption wedges. The subject matter defined in Claim 1, insofar as its features are clear, is therefore considered to be novel over this prior art (PCT Article 33(2)). The other international search report citations do not mention an ion beam scanning system with absorption wedges which can be actuated by a linear motor transversely to the ion beam.

The subject matter defined in Claim 1, and in dependent Claims 2-18, is therefore considered to be novel (PCT Article 33(2)).

2. The difference between the subject matter defined in Claim 1 and the prior art according to D1 is that, in Claim 1, a linear motor is provided to actuate the absorption wedges. D1 merely implies that the wedges can be moved, but the precise means of actuating them are not mentioned. It is, however, obvious to a person skilled in the art to use a linear motor for this purpose. A person skilled in the art of actuating mechanisms will be familiar with the advantages of a motor of this kind. This

THIS PACK BLANK USATO,

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No. PCT/EP 00/01149

difference cannot therefore be considered to involve an inventive step. The subject matter defined in Claim 1 does not therefore meet the requirements of PCT Article 33(3).

3. The additional features listed in Claims 2-18 (control system for the actuating motor, boundary screens, patient treatment table, ionization chamber, gantry) all appear to be known per se (see documents D1-D5) and, combined with the features of Claim 1, do not involve an inventive step (PCT Article 33(3)).

THIS PAGE BLANK IUSPRO,

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

ternational application No. PCT/EP 00/01149

VIII. Certain observations on the international application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

Clarity

Claim 2 does not define an additional feature of the scanning system claimed, since the target volume is not part of the system. The definition of intensity given in Claim 10 is likewise not a feature of the scanning system. The absorption wedges mentioned in Claim 20 have not been introduced in Claim 19. Claim 19 does not correspond to Claim 1; it does not mention either absorption wedges or a linear motor.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts 10580-GSI	WEITERES siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5			
Internationales Aktenzeichen	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr)	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)		
PCT/EP 00/01149	11/02/2000	19/02/1999		
Anmelder GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONE	NFORSCHUNG MBH			
Dieser internationale Recherchenbericht wurdt Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Inte	e von der Internationalen Recherchenbehörde ernationalen Büro übermittelt.	erstellt und wird dem Anmelder gemäß		
Dieser internationale Recherchenbericht umfal X Darüber hinaus liegt ihm jew	ßt insgesamt <u>3</u> Blätter. eils eine Kopie der in diesem Bericht genannte	en Unterlagen zum Stand der Technik bei.		
Grundlage des Berichts				
 a. Hinsichtlich der Sprache ist die interi durchgeführt worden, in der sie einge 	nationale Recherche auf der Grundlage der in ereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nicht	ternationalen Anmeldung in der Sprache s anderes angegeben ist.		
Anmeidung (Hegel 23.1 b)) d				
necherche auf der Grundlage des Se	i Anmeldung offenbarten Nucleotid- und/ode equenzprotokolls durchgeführt worden, das dung in Schriflicher Form enthalten ist.	r Aminosäuresequenz ist die internationale		
	nalen Anmeldung in computerlesbarer Form e	ngereicht worden ist.		
	in schriftlicher Form eingereicht worden ist.	3		
	in computerlesbarer Form eingereicht worder	ist.		
Die Erklärung, daß das nacht internationalen Anmeldung in	träglich eingereichte schriftliche Sequenzproto n Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgele	koll nicht über den Offenbarungsgehalt der egt.		
Die Erklärung, daß die in com wurde vorgelegt.	nputerlesbarer Form erfaßten Informationen de	em schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen.		
2. Bestimmte Ansprüche habe	en sich als nicht recherchierbar erwiesen (s	iehe Feld I)		
3. MangeInde Einheitlichkeit d		iene i cia ij.		
Hinsichtlich der Bezelchnung der Erfind	-			
wird der vom Anmelder einge	reichte Wortlaut genehmigt.			
wurde der Wortlaut von der B	ehörde wie folgt festgesetzt:			
5. Hinsichtlich der Zusammenfassung				
wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt. wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.				
6. Folgende Abbildung der Zelchnungen ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr				
wie vom Anmelder vorgeschlagen keine der Abb.				
_	Abbildung vorgeschlagen hat.			
weil diese Abbildung die Erfind	dung besser kennzeichnet.			

THIS PAGE BLANK USPRO,

A. KLAS IPK 7 KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES G21K1/04 A61N5/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 G21K A61N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, PAJ

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
(EP 0 779 081 A (HITACHI LTD) 18. Juni 1997 (1997-06-18) Spalto 2 70:10 F 70:10 15	1-3,5,20
Y	Spalte 3, Zeile 5 - Zeile 15 Spalte 3, Zeile 51 - Zeile 56 Spalte 4, Zeile 44 - Zeile 48 Spalte 5, Zeile 33 - Zeile 37 Spalte 7, Zeile 54 -Spalte 8, Zeile 12	6,9
Ą	Abbildungen 1,6	4,10,11, 13-15, 21,28,29
Y	EP 0 417 965 A (GEN ELECTRIC) 20. März 1991 (1991-03-20) Spalte 9, Zeile 37 -Spalte 10, Zeile 39 Abbildungen 5-7A 	6
	-/	•

Siehe Anhang Patentfamilie

- Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen
- Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft er-scheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- O Veröffentlichung, die sich auf eine m

 ündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Ma

 ßnahmen bezieht
 P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondem nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. Juni 2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016

06/07/2000

Bevollmächtigter Bediensteter

Capostagno, E

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONA RECHERCHENBERICHT

J

PCT/EP 00/01149

		PCI/EF 00		
	ing) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht komme	enden Teile	Betr. Anspruch Nr.	
Kategorie°	Dezeroniung der veronermichung, sowert enordenich unter Angabe der in betracht Komm	Detr. Ansprocition.		
Υ .	GB 1 362 678 A (VARIAN ASSOCIATES) 7. August 1974 (1974-08-07) Seite 2, Zeile 54 - Zeile 66 Abbildung 1	9 7 8		
A	WO 96 19262 A (ELEKTA AB ;BACKMAN PER (SE)) 27. Juni 1996 (1996-06-27) Seite 2, Zeile 13 -Seite 3, Zeile 23 Abbildung 3			
A	EP 0 094 278 A (THOMSON CSF) 16. November 1983 (1983-11-16) das ganze Dokument			
Α	EP 0 223 432 A (WANG SHIH PING) 27. Mai 1987 (1987-05-27) Spalte 11, Zeile 46 -Spalte 12, Zeile 5 Abbildung 8	1,3,20		
	, -			
		•		
	*			
			·	

1

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/EP 00/01149

				101721	00/01145
Im Recherchenberiongeführtes Patentdoku		Datum der Veröffentlichung		litglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0779081	Α	18-06-1997	JP	2833602 B	09-12-1998
	••	10 00 1337	JP	9223600 A	26-08-1997
					20 00 1997
EP 0417965	Α	20-03-1991	US	4998270 A	05-03-1991
			CA	2014920 A	06-03-1991
•			JP	1848981 C	07-06-1994
			JP	3149036 A	25-06-1991
			JP	5055131 B	16-08-1993
GB 1362678	Α	07-08-1974	CA	932883 A	28-08-1973
			DE	2158535 A	08-06-1972
			FR	2115423 A	07-07-1972
			IT	941769 B	10-03-1973
		,	NL	7116402 A	30-05-1972
	•		US	3720817 A	13-03-1973
			CA	939081 A	25-12-1973
	•		GB	1362679 A	07-08-1974
			ÜS	3783251 A	01-01-1974
		i	CA	951031 A	09-07-1974
			US	3777124 A	04-12-1973
W0 9619262	Α	27-06-1996	SE	508661 C	26-10-1998
•	*		EP	0843578 A	27-05-1998
		4	SE	9404405 A	20-06-1996
		16 11 1000			
EP 0094278	Α	16-11-1983	FR	2526215 A	04-11-1983
			DE	3361543 D	30-01-1986
			US 	4510613 A	09-04-1985
EP 0223432	Α	27-05-1987	CA	1244971 A	15-11-1988
•			JP	2913425 B	28-06-1999
		•	JР	5329138 A	14-12-1993
			JΡ	2562734 B	11-12-1996
			JΡ	5329139 A	14-12-1993
	•		ĴΡ	2849879 B	27-01-1999
			JP	5329140 A	14-12-1993
			ĴΡ	5080906 B	10-11-1993
			,1P	62129034 A	- P- GX /
			JP JP	62129034 A 11164828 A	11-06-1987 22-06-1999
			JP JP US	62129034 A 11164828 A 4953189 A	22-06-1999 28-08-1990

THIS PAGE BLANK (USPTO)

BEST AVAILABLE COPY

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 7:

G21K 1/04, A61N 5/10

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 00/49624

A1

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

24. August 2000 (24.08.00)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP00/01149

(22) Internationales Anmeldedatum: 11. Februar 2000 (11.02.00)

(30) Prioritätsdaten:

199 07 098.9

19. Februar 1999 (19.02.99)

DF

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONENFORSCHUNG MBH [DE/DE]; Planckstrasse 1, D-64291 Darmstadt (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KRAFT, Gerhard [DE/DE]; Planckstrasse 1, D-64291 Darmstadt (DE). WEBER, Ulrich [DE/DE]; Planckstrasse 1, D-64291 Darmstadt (DE).

(74) Anwälte: BOETERS, Hans, D. usw.; Boeters & Bauer, Bereiteranger 15, D-81541 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

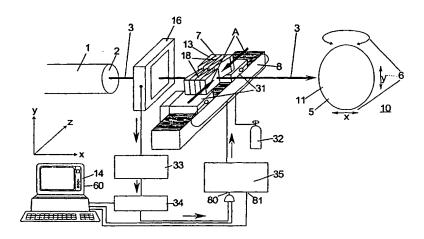
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: ION BEAM SCANNER SYSTEM AND OPERATING METHOD

(54) Bezeichnung: IONENSTRAHL-ABTASTSYSTEM UND VERFAHREN ZUM BETRIEB DES SYSTEMS

(57) Abstract

The invention relates to an ion beam scanner system with ion sourcing equipment, an ion accelerator system and ion beam guide, containing an outlet aperture for a converging, centred ion beam and a mechanical alignment system for the target volume which is to be scanned. For this purpose, the ion accelerator system can be set to the acceleration required for maximum penetration depth of the ions. In addition, the scanning system has an energy absorption element, which is mounted in the path of the beam crosswise to the centre of the beam, between the target volume and the ion beam outlet aperture. The energy absorption element can be displaced crossways to the centre of the ion beam to vary the beam's energy, so that modulation of the ion beam depth which is effected by a linear motor and transversal displacement of the energy absorption element



can be carried out in rapid succession by depthwise graduated scanning on volumetric elements of the target volume. The invention also relates to a method for ion-beam scanning and to a method for operating an ion-beam scanner system using a gantry system.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Ionenstrahl-Abtastsystem mit einer Ionenquelleneinrichtung, einem Ionenbeschleunigungssystem und einer Ionenstrahlführung mit Ionenstrahl-Austrittsfenster für einen konvergierenden zentrierten Ionenstrahl und einem mechanischen Ausrichtsystem für das abzutastende Zielvolumen. Dazu ist das Ionenbeschleunigungssystem auf eine für eine maximale Eindringtiefe notwendige Beschleunigung der Ionen einstellbar. Ferner weist das Abtastsystem ein Energieabsorptionsmittel auf, das in dem Ionenstrahlengang zwischen Zielvolumen und Ionenstrahl-Austrittsfenster quer zum Ionenstrahlzentrum angeordnet ist. Das Energieabsorptionsmittel ist quer zum Ionenstrahlzentrum zur Variation der Ionenstrahlenergie verschieblich, so daß eine Tiefenmodulation des Ionenstrahls, die mittels Linearmotor und der Querverschiebung des Energieabsorptionsmittels erfolgt, im Zielvolumen mit einer in der Tiefe gestaffelten Abtastung von Volumenelementen des Zielvolumens in schneller Folge durchführbar ist. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Ionenstrahl-Abtasten und ein Verfahren zum Betreiben eines Ionenstrahl-Abtastsystems unter Verwendung eines Gantry-Systems.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
ΑT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Senegal Swasiland
ΑZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Togo
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugosławische	TM	Tadschikistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	WIK	Republik Mazedonien		Turkmenistan
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TR	Türkei
BJ	Benin	IE	Irland	MN		TT	Trinidad und Tobago
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mongolei Mauretanien	UA	Ukraine
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	UG	Uganda
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von
CF	Zentralafrikanische Republik	JР	Japan	NE			Amerika
CG	Kongo	KE	Kenia	NL NL	Niger	UZ	Usbekistan
СН	Schweiz	KG	Kirgisistan		Niederlande	VN	Vietnam
CI	Côte d'Ivoire	KP	•	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CM	Kamerun	KI	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	zw	Zimbabwe
CN	China	KR		PL	Polen		
CU	Kuba	KZ	Republik Korea	PT	Portugal		
CZ	Tschechische Republik		Kasachstan	RO	Rumänien		
DE	Deutschland	rc	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Dånemark	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
EE		LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EĽ	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Ionenstrahl-Abtastsystem und Verfahren zum Betrieb des Systems

Die Erfindung betrifft ein Ionenstrahl-Abtastsystem und ein Verfahren zum Betrieb des Systems gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 20.

Ein derartiges System ist aus der Druckschrift US 5,585,642 bekannt und wird in der Teilchentherapie eingesetzt. Die mit einem derartigen System durchführbare Ionenstrahltherapie von Tumorgeweben zeichnet sich vor allem durch eine bessere Dosisverteilung, d.h. eine höhere Tumordosis, und eine Entlastung des gesunden Gewebes gegenüber einer Röntgentherapie aus. Diese Dosisverteilung folgt aus den physikalischen Eigenschaften von Teilchenstrahlen, die ein invertiertes Dosisprofil, d.h. ein Ansteigen der Dosis mit der Eindringtiefe, aufweist. Dadurch kann die Tumordosis über die konventionell mögliche Dosis der üblichen Bestrahlungstherapie gesteigert werden.

Um eine möglichst gute Anpassung des bestrahlten Volumens an das vorgegebene Zielvolumen zu erreichen, werden in der derzeitigen klinischen Praxis Vorrichtungen zur passiven Strahlformung eingesetzt, die aber das Problem nicht zufriedenstellend lösen können. Derartige Strahlformungsvorrichtungen arbeiten mit einem divergenten Ionenstrahl, der ein größeres Gebiet als das Zielvolumen, d.h. als das Volumen des Tumors, bestrahlt, aber durch entsprechende Randbegrenzer und durch die Tumorkontur nachbildende Kompensationsformen aus Kompensationsmaterialien den divergenten Ionenstrahl auf das Tumorvolumen einengen. Derartige Anlagen und Methoden haben den Nachteil, daß eine hohe Ionenstrahlenergie für den divergenten Ionenstrahl erforderlich wird und nicht gezielt einzelne Volumenelemente eines Zielvolumens oder Tumors angesteuert werden können.

Um einzelne Volumenelemente gezielt ansteuern zu können und eine Strahlendosis für das Volumenelement optimal anpassen zu können, wurde eine Rasterscanvorrichtung für Ionenstrahlen entwickelt. Mit dieser Vorrichtung wird das Zielvolumen in Schichten gleicher Teilchenreichweite zerlegt und ein feiner, intensitätsgesteuerter Bleistiftstrahl aus Ionen rasterförmig über die einzelnen Schichten geführt. Zusammen mit der aktiven Energievariation durch einen Ionenbeschleuniger kann damit ein exaktes Ausleuchten in drei Dimensionen eines jeden beliebigen Zielvolumens erreicht werden.

Jedoch auch diese intensitätsgesteuerte Rasterscanvorrichtung hat erhebliche Nachteile. Zum einen ist ein aufwendiges Kontrollsystem zur Überwachung der Strahllokalisation im Mikrosekundenbereich erforderlich. Ferner besteht die Gefahr der Zerstückelung von Isoenergieschnitten durch Dichte-Inhomogenitäten. Ferner ist die Einhaltung der vorgegebenen lateralen Strahllage (Strahlschwerpunkt) insbesondere bei der Variation von Energie und Strahlbreite während einer Behandlung problematisch. Schließlich sind die Randabfälle des Zielvolumens, die von der Breite des Strahlprofils abhängen, nachteilig für eine präzise Bestrahlung des Zielvolumens.

Diese Probleme führen dazu, daß die Einstellung und Kontrolle der Strahlparameter einer derartigen Vorrichtung ein Vielfaches der eigentlichen Patientenbestrahlung dauert. Darüber hinaus wird die Kombination von Rasterscanvorrichtung für Ionenstrahlen mit einem beweglichen drehbaren Ionenstrahlführungssystem der US-5,585,642, einem Gantry-System, wie es in Fachkreisen vorgeschlagen wird, eine erhebliche technische Herausforderung darstellen.

Bei einer Integration des Rasterscans in einem Gantry-System werden die Kontrollen noch langwieriger und noch aufwendiger als bei einer bisher realisierten starren Strahlführung. Außerdem werden Magnete mit großen Aperturen für die Integration der vorgeschlagenen Rasterscanvorrichtung benötigt, um praxisgerechte Größen bei den Bestrahlungsfeldern zu erreichen. Zusammen mit einer schnellen Energievariation schließen die großen: Aperturen dieses Lösungsvorschlags und damit die notwendige Abschirmung der Streufelder die Verwendung von supraleitenden Magneten aus. Eine Integration eines Scannersystems führt somit zu großen Aperturen, d.h. zu großen Ablenkungsmagneten und langen raum- und kostenaufwendigen Gantry-Systemen. Bei einer Anordnung des Scannersystems hinter dem letzten Ablenkungsmagneten, also stromabwärts der Ionenstrahlführung und eines Austrittsfensters des Ionenstrahls aus dem Führungssystem sind zwar kleine Aperturen möglich, d.h. kompakte Magnete, können eingesetzt werden, dafür ergeben sich wegen der erforderlichen Driftlänge oder der lichten Weite für einen Behandlungsraum Gantry-Radien von über 7 m. In beiden Fällen müssen demnach nachteilig Massen von mehr als 100 Tonnen millimetergenau bewegt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile im Stand der Technik zu überwinden und insbesondere im Vergleich zu der vorge-

schlagenen Rasterscanvorrichtung von Ionenstrahlen ein Ionenstrahlabtastsystem anzugeben, das die gegenwärtigen Schwierigkeiten überwindet.

Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand der Ansprüche 1 und 20 gelöst. Weitere Merkmale bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein Ionenstrahl-Abtastsystem mit einer Ionenquelleneinrichtung, einem Ionenbeschleunigungsssystem und einer Ionenstrahlführung mit IonenstrahlAustrittsfenster für einen konvergierenden zentrierten Ionenstrahl geschaffen, mit dem ein mechanisches Ausrichtsystem für das abzutastende Zielvolumen verbunden ist. Derartige Ausrichtsysteme sind aus dem Stand der Technik bekannt und sollen gewährleisten, daß das Zielvolumen aus beliebig bestimmbaren Winkeln im Raum bestrahlt werden kann. Deshalb weist üblicherweise ein derartiges Ausrichtssystem einen Patiententrägertisch auf, der mindestens um eine Rotationsachse drehbar und in drei Verschieberichtungen bewegbar ist, die nach dem Ausrichten während der Bestrahlung üblicherweise (zum Teil) nicht mehr verändert werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Ionenstrahl-Abtastsystem ist das Ionenbeschleunigungssystem auf eine für eine maximale Eindringtiefe notwendige Beschleunigung der Ionen einstellbar, und das Abtastsystem weist ein Energieabsorptionsmittel auf, das in dem Ionenstrahlengang zwischen Zielvolumen und Ionenstrahl-Austrittsfenster quer zum Ionenstrahlzentrum angeordnet ist und quer zum Ionenstrahlzentrum zur Variation der Ionenstrahlenergie verschieblich ist. Dazu wird erfindungsgemäß zur Tiefenmodulation des Ionenstrahls das Energieabsorbtionsmittel mittels eines Linearmotors quer zum Ionenstrahl verschoben, wobei im Zielvolumen eine in der Tiefe gestaffelten Abtastung von Volu-

menelementen des Zielvolumens vorteilhaft in schneller Folge durchführbar ist.

Dieses Ionenstrahl-Abtastsystem, das auf einer Tiefenmodulation basiert, bietet eine vorteilhafte Verbesserung gegenüber dem Einbau und der Integration eines Rasterscansystems in ein Gantry-System. Das erfindungsgemäße System ermöglicht gleich gute Dosisverteilung wie das Rasterscanssystem, benötigt aber ein wesentlich weniger aufwendiges Kontrollsystem. Darüber hinaus erlaubt es eine kompakte Bauweise auch in Zusammenwirken mit supraleitenden Magneten, so daß mit diesem System beliebige Feldgrößen realisierbar werden. Schließlich wird mit diesem System eine größere Schonung des gesunden Gewebes oberhalb eines Tumorgewebes und insbesondere eine verbesserte Hautschonung erreicht. Darüber hinaus ist das erfindungsgemäße Ionenstrahl-Abtastsystem universell sowohl für starre Ionenstrahlführungssysteme als auch für drehbare Ionenstrahlführungssysteme einsetzbar.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Ionenstrahlabtastsystems weist das Energieabsorptionsmittel quer zum Ionenstrahlzentrum verschiebliche Absorberkeile auf, die mit einem leistungsstarken Linearmotor angetrieben werden, so daß eine strahlintensitätskontrollierte Tiefenrasterung vollzogen werden kann. Das Absorberkeilsystem moduliert die Eindringtiefe des Strahls durch Abbremsung, d.h., das Bragg-Maximum wird über der Tumortiefe moduliert. Die seitliche Auslenkung kann durch eine Patientenverschiebung in den zwei Richtungen beispielsweise in x- und in y-Richtung einer Ebene ausgeführt werden. Das hat den Vorteil, daß nur ein feiner Bleistiftstrahl von feststehender Energie durch die gesamte Ionenstrahlführung zu steuern ist. Die ortsfeste Lage des Strahls in diesem System kann vorteilhaft durch eine mechanisch feststehende Aperturblende garantiert werden und kann weiterhin durch kleine ortsauflösende

Zähler überprüft werden. Die Strahlintensität wird mit einer einfachen Ionisationskammer meßbar, um die Strahlendosis pro Volumenelement aufzusummieren.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Abtastsystem ein elektronisches Steuersystem für den Linearantrieb der Absorberkeile und eine Ionisationskammer zum Messen der Teilchenrate des Strahls auf. Die Absorberkeile werden nach Erreichen einer vorbestimmten Teilchenzahl, die von der Ionisationskammer gemessen wird, und die durchaus für den Tiefenschritt verschieden sein kann, um einen Schritt, vorzugsweise von 10 bis 100 µm, weiter zusammengefahren, so daß eine in der Tiefe gestaffelte Abtastung von Volumenelementen des Zielvolumens möglich wird.

Mit dieser Ausführungsform ist der Vorteil verbunden, daß große ortsauflösende Detektoren, die das gesamte Strahlungsfeld abchecken, nicht benötigt werden. Das bedeutet eine erhebliche Reduktion des Kontrollsystems und eine Verkleinerung des Gesamtsystems.

Theoretisch kann das Absorberkeilsystem aus einem einzigen Absorberkeil bestehen, der quer zum Ionenstrahl schrittweise bewegt wird, und aufgrund seiner zunehmenden Dicke die Eindringtiefe des Ionenstrahls in das Gewebe oder das Zielvolumen vermindert. Dadurch entsteht eine säulenförmige Abtastung des Zielvolumens. Jedoch hat ein Absorberkeilsystem, das lediglich ein Absorberkeil aufweist, den Nachteil, daß über der Breite des Ionenstrahls die Absorption variiert und damit auch die Eindringtiefe variiert. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist deshalb das Energieabsorptionsmittel mindestens zwei quer zum Ionenstrahlzentrum entgegengesetzt verschiebliche Absorberkeile auf. Diese beiden Absorberkeile haben den gleichen Absorberkeilwinkel, so daß beim schrittweisen Zusammenschieben der beiden Absorberkeile der Ionenstrahl immer

die gleiche Dicke eines Absorbermaterials durchfahren muß. Jedoch bilden sich auch hier minimale Energieunterschiede über dem Querschnitt des Ionenstrahls aus, da der Ionenstrahl selbst konvergiert und somit an den Absorberkeilflächen beim Übergang von einem Absorberkeil zum zweiten Absorberkeil einen unterschiedlichen Querschnitte aufweist und damit über dem Querschnitt unterschiedlich absorbiert wird.

Um diesen Effekt zu vermindern, weist vorzugsweise das Energieabsorptionsmittel zwei quer zum Ionenstrahlzentrum gegeneinander verschiebliche Absorberkeilpakete auf. Bei derartigen Absorberkeilpaketen wird der Spalt zwischen zwei Absorberkeilen
auf mehrere Spalte verteilt, bei denen sich die oben angegebenene nachteilige Wirkung größtenteils bei entsprechender Anordnung der Absorberkeile zueinander aufhebt und die Steigung pro
Keil gegenüber einem System mit zwei gegeneinander verschieblichen Keilen vermindert wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Ionenstrahlabtastsystem einen Randbegrenzer mit verschieblichen Blendenelementen zwischen dem Zielvolumen und dem Energieabsorptionsmittel auf. Eine derartige mechanische Randbegrenzung hat den Vorteil, daß steilere Randabfälle möglich werden, ohne daß ein aufwendiges Kontrollsystem erforderlich wird. Dazu weist vorzugsweise das Abtastsystems irisblendenartig einzeln verstellbare Randblenden für eine derartige Randbegrenzung des Ionenstrahl in bezug auf das Zielvolumen auf.

Um vorzugsweise das gesamte Zielvolumen zu bestrahlen, weist das Ionenstrahlabtastsystem einen Patiententisch auf, der das Zielvolumen trägt und während eines Bestrahlungsvorganges in einer Ebene quer zum Ionenstrahl in zwei Koordinatenrichtungen verschiebbar ist.

Mit dem erfindungsgemäßen Tiefenmodulationssystem wird das Zielvolumen primär in Säulen um die einzelnen Zielstrahlen zerlegt. Längs der Säule wird der Strahlweg in einzelne Positionen oder Pixel aufgeteilt, für die die Strahlbelegung bzw. die Strahlendosis vorberechnet wird. Mit einem mechanischen Abbremssystem zur Energieabsorption der Ionen, das aus einem Mehrfachkeil mit Linearantrieb besteht, wird das Bragg-Maximum des Strahls intensitätsgesteuert, ohne Unterbrechung von einem Pixel zum nächsten Pixel geführt, wenn die Teilchenbelegung der einzelnen Pixel erreicht ist. Diese Säulenaufteilung entspricht mehr den wirklichen Gegebenheiten einer Tumorbestrahlung, als die Flächenaufteilung der vorgeschlagenen Rasterscanvorrichtung, da Dichteinhomogenitäten stromaufwärts des Zielvolumens in, beispielsweise in der gesunden Gewebestruktur über einem Tumor, zu einer Verschiebung einer Säule in positiver oder negativer Richtung führen, aber nicht zu einer Unterbrechung innerhalb der Säule.

Zur Tumorbehandlung eines Patienten wird bei der erfindungsgemäßen Lösung vorteilhaft die höchste benötigte Energie für das Strahlenführungssystem vom Beschleuniger bis zum Patienten eingestellt. Diese Energieeinstellung bleibt in vorteilhafter Weise für die gesamte Behandlung konstant, da die Tiefenvariation, d.h. die Energievariation, nur durch das schnell bewegliche Absorberkeilsystem des Energieabsorptionsmittels direkt vor dem Patienten geschieht. Die Länge der einzelnen Bestrahlungssäulen hängt von der Geometrie des Zielvolumens ab. Der Dosisquerschnitt der Säulen ist ein Gauß-Profil. Die Abstände der Säulenzentren müssen kleiner sein als die halbe Halbwertsbreite der Gauß-Verteilung, um eine kontinuierliche Überlappung zu erzeugen. Um über- und unterbestrahlte Stellen auszuschließen, ist ein relativ breites Strahlprofil im Größenordnungsbereich von 10mm Durchmesser vorteilhaft. Diese im Vergleich zur vorgeschlagenen Rasterscanvorrichtung großen Strahlprofile setzen

auch die Bestrahlungsdauer pro Patient bei großen Zielvolumina herab.

Da durch den Randbegrenzer einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung Teile der radialen Dosisverteilung der einzelnen Dosissäulen absorbiert werden können, kann trotz großer Halbwertsbreiten ein steiler Randabfall an kritischen Stellen erreicht werden.

Während das Energieabsorptionsmittel in Form einer Tiefenmodulationsvorrichtung, bzw. eines Tiefenmodulators, bzw. eines
Tiefenscanners aufgrund des Antriebs des Absorberkeilsystems
mittels eines luftgelagerten Linearmotors schnell und säulenförmig das Zielvolumen abtasten kann, ist für die seitliche
Verschiebung des Zielvolumens in den zwei Richtungen x und y
einer Ebene genügend Zeit, so daß ein Patiententisch, der das
Zielvolumen trägt und in zwei lateralen Richtungen quer zum Ionenstrahl während eines Bestrahlungsvorgangs verschiebbar ist,
genügend Zeit, um nach und nach Säule für Säule abzutasten und
nebeneinander zu überlappen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Patiententisch während der Behandlung nur in einer Koordinatenrichtung verschieblich, während für die andere laterale Richtung entsprechende Ablenkungsmagnete für den Ionenstrahl vorgesehen sind, so daß der Ionenstrahl aus seiner Mittenposition am Austrittsfenster quer zur lateralen Richtung des Patiententisches ablenkbar wird. Dieses System hat den Vorteil, daß es lediglich nur noch in einer Richtung von einer mechanischen und damit langsamen Bewegung abhängt und eine Tiefenmodulation und Seitenmodulation relativ zügig durchgeführt werden kann.

Vorzugsweise ist eine Ionisationskammer zur Summation der Ionen, die in einem Volumenelement auftreffen, stromaufwärts vom

Energieabsorbtionsmittel und strcmabwärts vom Ionenstrahl-Austrittsfenster angeordnet. Mit dieser Anordnung kann die Bestrahlungsdosis, die als Summenzahl der Ionen, die in einem Volumenelement auftreffen, definiert ist, vorteilhaft bestimmt werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Ionenstrahlabtastsstem zusätzlich zu einem in lateraler Richtung verschiebbaren Patiententisch ein Gantry-System auf, das quer zur lateralen Bewegungsrichtung des Patiententisches um eine Gantryrotationsachse drehbar ist. Durch die langsame Pendelbewegung des Gantry-Systems über das Bestrahlungsfeld werden die einzelnen Säulen nebeneinandergesetzt und damit vorteilhaft die zweite Dimension der tumorkonformen Bestrahlung ausgeführt.

Bei dem bevorzugten Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System wird der Ionenstrahl in der Gantryrotationsachse dem Gantry-System zugeführt und mittels Magnetoptiken unter einstellbaren Winkeln von 0 bis 360° in einer Ebene orthogonal zur Gantryrotationsachse auf ein Zielvolumen ausgerichtet. Der Ionenstrahl schneidet dabei die Gantryrotationsachse in einem Isozentrum des Gantry-System. Dabei weist das Gantry-System einen lateral in Richtung der Gantryrotationsachse verschieblichen Zielvolumenträger auf, der stromaufwärts des Isozentrums angeordnet ist. Das Energieabsorptionsmittel ist stromaufwärts in Radialrichtung des Gantry-Systems angeordnet. Durch die erfindungsgemäße Tiefenmodulationsvorrichtung wird eine Volumenelementrasterung in Tiefenrichtung erreicht, durch das Gantry-System eine Drehwinkel-Volumenelementrasterung in Seitenrichtung und durch den lateral verschieblichen Zielvolumenträger eine Volumenelementrasterung in Längsrichtung definiert, so daß beliebig geformte Zielvolumen durch die Kombination dieser drei Rastermittel volumenelementweise rasterbar sind.

Bei dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es wichtig, daß das Isozentrum der Gantrybewegung stromabwärtsvon, bzw. hinter dem Bestrahlungsvolumen liegt. Eine leichte Kegelförmigkeit des Bestrahlungsvolumens kann durch eine entsprechende Wichtung der Pixel bei einem dichten Netz der radialen Stützpunkte berücksichtigt werden, ohne daß ein Verlust an Homogenität auftritt.

Die Winkeldifferenz der exzentrischen Bestrahlung durch die Gantryrotation hat den entscheidenden Vorteil einer weiteren Absenkung der Dosisbelastung im Eingangskanal und damit einer Absenkung der Dosisbelastung des gesunden Gewebes über dem Tumorgewebe. Da sich das Gantry-System wegen der großen Masse nur kontinuierlich oder in kleinen Schritten bewegen kann, muß die angebotene Teilchenfluenz höher als die pro Säule benötigte Fluenz liegen. Das bedeutet, die Bestrahlung jeder einzelnen Säule vollzieht sich während einer kurzen Winkelbewegung des Gantry-Systems. Die dritte Koordinate der Bestrahlung erfolgt bei dieser bevorzugten Ausführungsform durch eine langsame, schrittweise Verschiebung des liegenden Patienten auf dem Zielvolumenträger durch die Bestrahlungsapparatur in Richtung der Gantryrotationsachse. Dabei werden vorzugsweise Geschwindigkeiten von weniger als 1 cm/s eingehalten und sind ausreichend für tolerable Bestrahlungszeiten von Patienten.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung bleibt der Zielvolumenträger während der Behandlung unbewegt und der Ionenstrahl wird durch die Umlenkmagnete während der Bestrahlung in der Gantry-Ebene abgelenkt. Damit wird, statt die Patientenliege zu verschieben, der Ionenstrahl durch Variation des Magnetfeldes im letzten Umlenkmagneten in der Gantry abgelenkt. Es ergibt sich damit vorteilhaft folgende Abfolge der notwendigen Bewegung in drei Freiheitsgraden: die Strahla-

blenkung mit der höchsten Geschwindigkeit geschieht mit dem Energieabsorbtionsmittel, bzw. Tiefenmodulator. Eine mittlere Geschwindigkeit (z.B. alle 1 bis 2 s um 4 mm), wird der Strahl in der Gantry-Ebene durch die Umlenkmagneten zur nächsten Säule geführt. Die langsamste Bewegung ist die Gantryrotation, die nach der Bestrahlung einer Säulenreihe durch die Drehung des Gantry-Systems auf die nächste Säulenreihe geführt wird. Der Vorteil bei diesem Ionenstrahl-Abtastsystem ist es, daß der Patient nicht bewegt werden muß und das Gantry-System während der Bestrahlung nicht hin- und herschwingen muß, sondern schrittweise gedreht werden kann.

Gegenüber herkömmlichen Systemen erfordert die variable Ablenkung des Strahls in der Gantry-Ebene nur einen relativ geringen Zusatzaufwand, da die Umlenkmagnete sowieso notwendig sind. Die Veränderung der Ablenkung des Strahls erfolgt langsam (im Sekundentakt) und somit werden auch keine hohen Anforderungen an die Magnetnetzteile und das Kontrollsystem gestellt. Als Kontrollvorrichtung für die Ablenkungsvariation des Strahls genügt eine einfache Drahtkammer, die mit einer relativ geringen Wiederholungsrate ausgelesen werden muß. Die Kontrollelektronik für diese langsame Abtasttechnik der vorliegenden Erfindung ist bei weitem nicht so aufwendig, wie die vorgeschlagene, konkurrierende, schnelle Rasterscantechnik, bei der die Strahlpositionen alle 100 µs zu messen sind, um den Strahl verfolgen und kontrollieren zu können.

In einer bevorzugten Ausführungsform des IonenstrahlAbtastsystems mit Gantry-System weist das Energieabsorptionsmittel tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems verschiebliche Absorberteile auf. Diese Ausführungsform wird dadurch erreicht, daß das Energieabsorptionsmittel unmittelbar an dem
Gantry-System fixiert wird, nämlich stromabwärts von dem Austrittsfenster des Ionenstrahls. Auch in dieser Ausführungsform

des Ionenstrahl-Absorptionssystems mit Gantry-System können statt einem Absorberkeil mindestens zwei tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems entgegengesetzt verschiebliche Absorberkeile vorgesehen werden oder radial gestaffelte tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems verschiebliche Absorberkeilpakete angeordnet werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Ionenstrahl-Abtastsystems mit Gantry-System ist ein zentraler Bereich des Zielvolumens um mindestens 1/5 des Gantrysystemradius stromaufwärts des Isozentrums angeordnet, so daß das Zielvolumen selbst nicht im Isozentrum liegt. Die Vorteile dieser Ausführungsform wurden bereits oben im Detail geschildert. Dabei ist hervorzuheben, daß ein optimaler Abstand zwischen Zielvolumen und Isozentrum einstellbar ist, um die Belastung des gesunden Gewebes im Eingangskanal der Bestrahlung gering zu halten.

Bei dem bevorzugten Verfahren zum Ionenstrahlabtasten mittels einer Ionenquelleneinrichtung, einem Ionenbeschleunigungssystem und einer Ionenstrahlführung mit Ionenstrahl-Austrittsfenster für einen konvergierenden, zentrierten Ionenstrahl und einem mechanischen Ausrichtsystem für das abzutastende Zielvolumen werden folgende Verfahrensschritte durchgeführt:

- Einstellen des Ionenbeschleunigungssystems auf eine für eine maximale Eindringtiefe notwendige Beschleunigung der Ionen,
- Erfassen der Ionenstrahlintensität,
- Querverschieben eines Energieabsorptionsmittels mit unterschiedlicher Materialstärke zur Tiefenmodulation des Ionenstrahls,

- Aufsummieren der Strahlungsionen eines Volumenelementes eines Zielvolumens bis zu einer vorgegebenen Strahlungsdosis,
- Ändern der Eindringtiefe des Ionenstrahls mittels Querverschiebung des Energieabsorptionsmittels nach Erreichen der vorgegebenen Bestrahlungsdosis des Volumenelementes zur Bestrahlung eines nächsten stromaufwärts liegenden Volumenelements.

Mit diesem Verfahren ist der Vorteil verbunden, daß die Beschleunigung der Ionen in dem Ionenbeschleunigungssystem nur einmal festzulegen ist und während der gesamten Behandlungsphase beibehalten werden kann. Die Tiefenmodulation der Bestrahlung wird ausschließlich durch ein Energieabsorptionsmittel, das stromaufwärts des zu bestrahlenden Zielvolumens angeordnet ist, und stromabwärts des Ionenstrahl-Austrittsfensters liegt, durchgeführt. Da es außer dem Energieabsorbtionsmittel, bzw. dem Tiefenmodulator kein weiteres Material im Strahlengang gibt, bevor das Gewebe erreicht wird, ist die nukleare Fragmentierung minimal und unabhängig von der Eindringtiefe, da die Gesamtabsorption durch den Tiefenmodulator plus Gewebetiefe insgesamt konstant bleibt. Somit wird ein konstantes Bragg-Profil über der Zielvolumentiefe erreicht. Eine Verwendung von Spezialfiltern, auch Ripple-Filtern, zur Vergleichmäßigung des Bragg-Profils, wie es herkömmliche Verfahren einsetzen, ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren entbehrlch.

Die Bewegung der Absorberkeile wird für die Tiefenmodulation von der Intensität des einkommenden Strahls nach der berechneten Vorlage der Dosisverteilung geregelt. Dabei ist die Länge jeder Bestrahlungssäule in einzelne Bildpunkte aufgeteilt und der Strahl, d.h. das Bragg-Maximum des Strahls, wird vorteilhaft von einem Pixel, bzw. Bildpunkt, zum nächsten verschoben, wenn die erforderliche Teilchenzahl erreicht ist. Somit bietet das erfindungsgemäße Verfahren eine größtmögliche Sicherheit

für den Patienten und eine hohe Präzision bei der Bestrahlung von Tumorgeweben sowie eine minimale Belastung des stromaufwärts liegenden gesunden Gewebes.

In einer bevorzugten Durchführung des Verfahrens fährt ein elektronisches Steuersystem für den Linearantrieb der Absorberkeile diese um einen Schritt weiter zusammen, nachdem es die Teilchenrate des Strahles mittels einer Ionisationskammer gemessen hat, und eine vorbestimmte Teilchenanzahl, die für jeden Tiefenschritt unterschiedlich sein kann, erreicht worden ist. Somit erfolgt eine in der Tiefe gestaffelte Abtastung von Volumenelementen des Zielvolumens. Vorzugsweise ist die Schrittweite, mit der die Absorberkeile weiter zusammengefahren werden, zwischen 10 und 100 μm .

Die gemessene Intensität pro Volumenelement liegt zwischen 10⁶ und 10⁸ absorbierten Ionen während des Abrasterns des Zielvolumens. Dabei kann das Zielvolumen kontinuierlich fortschreitend abgetastet werden, indem während der Tiefenmodulation gleichzeitig in den anderen beiden Richtungen der Patiententisch oder die Gantry oder beides bewegt wird. Zwar erfolgt aufgrund der Tiefenmodulation die Abtastung des Zielvolumens in Tiefenrichtung immer säulenförmig, jedoch können diese Säulen bei einer kontinuierlich fortschreitenden Abtastung zickzackförmig verschoben sein.

In einer anderen bevorzugten Durchführung des Verfahrens schreitet die Abtastung des Zielvolumens schrittweise voran. Dieses schrittweise Voranschreiten ist insbesondere vorteilhaft, wenn die Bewegungsabläufe mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aufgrund von unterschiedlichen Massen, die zu bewegen sind, ablaufen.

Entsprechend kann vorzugsweise die Abtastung des Zielvolumens in Tiefenrichtung kontinuierlich und in Seiten- und Längsrichtung schrittweise erfolgen oder die Abtastung des Zielvolumens in Tiefenrichtung und in Seitenrichtung kontinuierlich und in Längsrichtung schrittweise erfolgen. Bei einer bevorzugten Durchführung des Verfahrens wird das Ionenstrahl-Abtastsystem unter Verwendung eines Gantry-Systems betrieben. Dazu werden folgende Verfahrensschritte durchgeführt:

- 1. Anordnen des Zielvolumens stromaufwärts des Isozentrums,
- Volumenelementrastern in Tiefenrichtung mittels eines Energieabsorptionsmittels, das stromaufwärts in Radialrichtung des Gantry-Systems angeordnet ist,
- 3. Volumenelementrastern in Seitenrichtung mittels Drehwinkeländerung des Gantry-Systems und
- 4. Volumenelementrastern in Längsrichtung mittels Rasterverschiebung des Zielvolumenträgers.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß der Zielvolumenträger oder der Patiententisch lediglich in eine Richtung während der Bestrahlung bewegt werden muß, während die anderen beiden Richtungen einerseits durch die Tiefenmodulation mit Hilfe des Energieabsorptionsmittels erreicht wird, und die andere durch Dreh- oder Pendelbewegung des Gantry-Systems durchgeführt wird.

Während für das Verschieben des Absorberkeilsystems des Energieabsorptionsmittels relativ geringe Massen mit einem Linearmotor zu bewegen sind, erfolgt die Drehbewegung eines GantrySystems entsprechend langsamer, während ein Verschieben eines
Patiententisches aufgrund seiner geringeren Masse gegenüber einem Gantry-System, aber größeren Masse gegenüber dem Energieab-

sorptionsmittel mit seiner Trägheit zwischen diesen beiden Vorrichtungen liegt.

Bei einem weiteren bevorzugten Verfahren kann der Patient in völliger Ruhe auf dem Patiententisch liegen, wenn ein Gantry-System Verwendung findet, bei dem ein Zielvolumenträger vor der Behandlung ausgerichtet wird und während der Bestrahlung unbeweglich bleibt und der Ionenstrahl mittels der letzten Gantryumlenkmagnete in der Gantry-Ebene zur Volumenelementrasterung in Längsrichtung abgelenkt wird.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung werden nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

- Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 2 zeigt das Prinzip der Überlagerung von zueinander verschobenen Tiefendosisprofilen,
- Fig. 3 zeigt das Prinzip der säulenförmigen Abtastung eines Zielvolumens mit der Ausführungsform nach Fig. 1,
- Fig. 4 zeigt die perspektivische Ansicht eines Energieabsorptionsmittels in Form eines einzelnen Absorberkeils,
- Fig. 5 zeigt den Querschnitt eines Energieabsorbermittels mit zwei Absorberkeilen,
- Fig. 6 zeigt den Querschnitt eines Energieabsorptionsmittels mit Absorberkeilpaketen aus jeweils fünf Absorberkeilen,
- Fig. 7 zeigt einen Randbegrenzer in Ruhestellung,

- Fig. 8 zeigt einen Randbegrenzer mit zwei Blenden in Betriebsposition,
- Fig. 9 zeigt eine Prinzipsskizze eines luftgelagerten Linearmotors,
- Fig. 10 zeigt eine Prinzipskizze einer zweiten Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 11 zeigt eine Prinzipskizze der Anordnung eines Zielvolumens in der Ausführungsform nach Fig. 10 oberhalb des Isozentrums,
- Fig. 12 zeigt eine Prinzipskizze einer dritten Ausführungsform der Erfindung.
- Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines Ionenstrahl-Abtastsystems, das eine nichtgezeigte Ionenquelleneinrichtung, ein nichtgezeigtes Ionenbeschleunigungssystem und eine Strahlführung 1 mit einem Ionenstrahl-Austrittsfenster 2 für einen konvergierenden zentrierten Ionenstrahl 3 umfaßt. Zu dem Ionenstrahl-Abtastsystem gehört ein nichtgezeigtes mechanisches Ausrichtsystem für das abzutastende Zielvolumen 5.

Das Ausrichtsystem ermöglicht es, das Zielvolumen mindestens um eine Achse zu drehen und in Richtung der drei Raumkoordinaten zu verschieben, so daß das Zielvolumen aus einem beliebig wählbaren Winkel im Raum von dem Ionenstrahl bestrahlt werden kann. Eine derartige Ausrichtung erfolgt vor der eigentlichen Bestrahlung des Zielvolumens mit Ionen.

Mit dem nicht gezeigten Ionenbeschleunigungssystem wird zunächst eine für eine maximale Eindringtiefe notwendige Beschleunigung der Ionen eingestellt. Diese Energie wird während der gesamten Behandlung nicht geändert und bewirkt, daß der Ionenstrahl bis zu dem tiefsten Punkt des Zielvolumens das Gewebe durchdringen kann. Durch ein Energieabsorptionsmittel 7, das in dem Ionenstrahlengang zwischen Zielvolumen 5 und Ionenstrahl-Austrittsfenster 2 quer zum Ionenstrahlzentrum angeordnet ist und quer zum Ionenstrahlzentrum zur Variation der Ionenstrahlenergie in Pfeilrichtung A verschieblich ist, wird das Bragg-Maximum von der maximalen Eindringtiefe durch zunehmende Energieabsorption zu niedrigeren Eindringtiefen verschoben. Dieser Vorgang kann kontinuierlich oder schrittweise durchgeführt werden, so daß eine Tiefenmodulation oder eine Tiefenabtastung stattfindet, die im folgenden auch Tiefenscan genannt wird. Die Änderung der Energieabsorption wird mittels des Energieabsorptionsmittels 7 dadurch erreicht, daß ein Linearmotor 8 eine Querverschiebung in Pfeilrichtung A von paarweise gegenüberstehenden Absorberkeilen 13 aufeinander zu bewirkt, so daß ein in der Tiefe gestaffeltes Abtasten von Volumenelementen des Zielvolumens in schneller Folge durchführbar wird.

Dazu sind die Läufer 31 des Linearmotors 8 luftgelagert und werden von einer Preßluftflasche 32 mit Druckluft versorgt. Für ein schrittweises Zusammenfahren der Absorberkeile 13 werden die Motorströme über eine Schrittmotorsteuerung 35, die eine Leistungsstufe aufweist, gesteuert.

Um die Anzahl der Ionen zu messen und aufzusummieren, bis eine vorbestimmte Ionenstrahldosis pro Volumenelement des Zielvolumens erreicht ist und bis der Linearmotor 8 um einen weiteren Schritt die Absorberkeile 13 vorzugsweise um 10 bis 100 µm zusammenfahren kann, wird mit der Ionisationskammer 16 über einen Stromverstärker mit nachgeschaltetem Spannungs-Frequenz-

Konverter 33 eine Impulssteuerung mit TTL-Impulsen angesteuert, deren Frequenzproportional zur einfallenden Ionenrate onen/sec) ist. Sobald die ausreichende Dosis für ein Volumenelement erreicht ist, was einer bestimmten TTL-Impulszahl entspreicht, löst die Impulssteuerung mit einem Steuerimpuls an die Schrittmotorsteuerung den nächsten Schritt aus. Dieser Ablauf wiederholt sich, bis ein Tiefenscan abgeschlossen ist.

Fig. 2 zeigt das Prinzip der Überlagerung von zueinander verschobenen Tiefendosisprofilen. Durch den Tiefenscanner werden die einzelnen Bragg-Kurven 36 bis 44 von einer zur nächsten Absorberstellung um jeweils 4,3 mm verschoben. Die Höhe der Bragg-Kurven ist durch die Teilchenanzahl gegeben, die bei entsprechender Absorberstellung auf das Target auftrifft. Wenn die Teilchenzahlen vorher korrekt berechnet wurden, ergibt die Überlagerung der Bragg-Kurven die gewünschte verbreiterte Bragg-Spitze, die der Ausdehnung des Zielvolumens in der Tiefe entspricht. Entsprechend ist auf der Abszisse die Eindringtiefe in cm angegeben und auf der Ordinate die relative Dosis in %.

Deutlich ist an diesem Beispiel erkennbar, daß bei der Aufsummation der Bragg-Kurven das Zielvolumen mit 100 % relativer Dosis bestrahlt wird, während das darüberliegende gesunde Gewebe unter 60 % der Strahlenbelastung ausgesetzt ist, und das darunterliegende Gewebe sogar weit unter 20 % der Strahlendosis aufnehmen muß. Damit wird deutlich, welch großer Vorteil gegenüber Röntgenstrahltherapien die Ionenstrahltherapie aufweist.

Die Fig. 2 soll das Prinzip der Überlagerung lediglich verdeutlichen. Bei einem realen Tiefenscan werden mehrere tausend Bragg-Kurven mit viel kleineren Abständen überlagert. Dieses ermöglicht eine quasi kontinuierliche Bewegung der Antriebe des Energieabsorptionsmittels 7 und gewährleistet somit eine gleichmäßige Überlagerung, so daß auf konventionelle Ripple-

Filter bei Einsatz des Ionenstrahl-Abtastsystems nach dieser Ausführungsform der Erfindung verzichtet werden kann.

Fig. 3 zeigt das Prinzip der säulenförmigen Abtastung eines Zielvolumens mit der Ausführungsform nach Fig. 1. Bei dieser Ausführungsform wird das Zielvolumen in Pfeilrichtung X und Y mechanisch verschoben, während der Ionenstrahl 3 einer starren Ionenstrahlführung seine zentrale Richtung beibehält. Durch die Tiefenmodulation oder den Tiefenscan verursacht durch das Energieabsorptionsmittel werden die Volumenelemente 9 des Zielvolumens 5 säulenförmig abgetastet, wobei die Ausdehnung 1 der verbreiterten Bragg-Spitze aufgrund der Summation der Bragg-Kurven 36 bis 43 der Länge der Säule bzw. der Tiefe des Zielvolumens an dieser Stelle entspricht. Wie Fig. 3 deutlich zeigt, kann ein gesundes Gewebe 10 von einer Bestrahlung weitestgehend verschont bleiben, während das Tumorgewebe die unterschiedlichsten Formen einnehmen kann, so daß lediglich die Tiefenmodulation der Ausdehnung des Tumorgewebes in einer Koordinatenrichtuing, beispielsweise entlang der z-Koordinate ,folgen muß.

Fig. 4 zeigt die perspektivische Ansicht eines Energieabsorptionsmittels in Form eines einzelnen Absorberkeils. Dieser Absorberkeil ist ein Einzelkeil aus einem Absorberkeilpaket, wie es in Fig. 6 gezeigt wird. Der Absorberkeilwinkel α liegt zwischen 6 und 10° und ist in diesem Ausführungsbeispiel auf 8,765° \pm 0,01 festgelegt. Die Länge des Absorberkeils beträgt zwischen 100 und 150mm und ist in diesem Ausführungsbeispiel auf 120 \pm 0,02mm festgelegt. Die größte Dicke des Absorberkeils beträgt zwischen 15 und 30mm und ist in diesem Ausführungsbeispiel auf 19 \pm 0,01mm angesetzt. Der quaderförmige Abschluß des Absorberkeils dient dazu, ihn in einem Paket, wie es in Fig. 6 gezeigt wird, zu stapeln. Der quaderförmige Abschluß hat die Abmessungen 15 x 15mm² bis 30 x 30mm² und eine Länge von 40 bis

60 mm, die in diesem Beispiel 50mm beträgt. Der Quaderquerschnitt ist der größten Absorberkeiltiefe von 19 mm angepaßt und beträgt in diesem Beispiel 20 x 20mm². Eine zentrale Bohrung 44 ermöglicht das Zusammenfügen mehrerer Einzelkeile zu Absorberkeilpaketen, wie sie in Fig. 6 gezeigt werden.

Fig. 5 zeigt den Querschnitt eines Energieabsorptionsmittels mit zwei Absorberkeilen 13, die in Pfeilrichtung A aufeinander zu oder in Pfeilrichtung B auseinander fahrbar sind. Werden diese zwei Absorberkeile auseinandergefahren, so ergibt sich ein großer Abstand a zwischen den schrägen Absorberkeilflächen. Aufgrund des konvergierenden zentrierten Ionenstrahls 3 wird deutlich, daß der Ionenstrahlbereich auf der rechten Seite des Strahls ein dickeres Absorbermaterial zu durchstrahlen hat, als auf der linken Seite des Strahls. Somit ist die Eindringtiefe in das Zielvolumen über den Querschnitt des Ionenstrahls gesehen unterschiedlich. Um dieses auszugleichen und zu minimieren, wird in Fig. 6 der Querschnitt eines Energieabsorptionsmittels 7 mit Absorberkeilpaketen 18 aus jeweils fünf Absorberkeilen 13 gezeigt. Deutlich ist zu erkennen, daß die rechte Seite des konvergenten Ionenstrahls kaum mehr Absorbermaterial zu durchdringen hat, als die linke Seite. Somit ist eine Tiefenmodulation mit Hilfe von Absorberkeilpaketen 18 einer Tiefenmodulation aus zwei Absorberkeilen 13, wie in Fig. 5 gezeigt, vorzuziehen.

Vorzugsweise bestehen die Absorberkeile 13 aus mehreren Plexiglaskeilen. Aufeinandergesetzt besitzen sie als Absorberkeilpaket 18 die gleiche Wirkung wie zwei Absorberkeile 13 der Fig. 5, jedoch mit unterschiedlicher Steigung. Eine große Steigung ist bei zwei Absorberkeilen, wie in Fig. 5 notwendig, um bei der erreichbaren Beschleunigung der Absorberkeile 13 einen ausreichenden Absorbereffekt zu erzielen. diese große Steigung

4

wird in Fig. 6 auf eine Mehrzahl von Absorberkeilen mit kleiner Steigung verteilt.

Der Vorteil von mehreren aufeinandergesetzten gegenüber zwei dicken Absorberkeilen 13 liegt darin, daß der Strahl in den Absorberkeilen unvermeidlich aufgestreut wird, und bei den zwei dicken Absorberkeilen ein Teil des Strahls durch mehr Material als ein anderer Teil des Strahls läuft. Dadurch erzeugt man eine undefinierte Energieverteilung des Strahls, die zu vermeiden wäre. Die Absorberkeile 13 werden mit Aluminiumwinkeln auf dem Linearmotoren 8 befestigt. Die Verschraubungen sind spielfrei und präzise.

Das Plexiglas als Material der Absorberkeile 13 hat den Vorteil, präzise bearbeitbar zu sein und aus radiologischer Sicht dem Material Wasser recht ähnlich zu sein. Demnach verhält sich für einen Ionenstrahl aus Kohlenstoff eine 1 cm dicke Plexiglasschicht genauso wie eine 1,15 cm dicke Wasserschicht. Bei einer Verwendung von 2 x 4 Absorberkeilen mit einem Steigungswinkel von α = 8,765° ergibt sich ein Vorschub durch die Motoren um 1 mm eine Verdickung des Absorbers um eine wasseräquivalente Strecke von 1,42 mm Wasser.

Das Ionenstrahl-Abtastsystem gemäß der vorliegenden Erfindung stellt hohe Anforderungen an das System zur Tiefenmodulation und die Beweglichkeit des Energieabsorptionsmittels 7. Das Energieabsorptionsmittel, bzw. der Tiefenscanner soll mit einem Schwerionenstrahl ein glattes Tiefendosisprofil mit einer typischen Ausdehnung von 2 bis 15 cm in der Tiefe erzeugen. Dazu werden Absorberkeile verwendet, die so verschoben werden können, daß die Strecke, die der Strahl durchläuft, verändert wird. Der Tiefenscanner variiert während der Strahlextraktion die Absorberdicke in genau definierter Weise. Die Schwerionenstrahlen, die durch unterschiedlich dicke Absorptionseinstel-

lungen gelaufen sind, werden dabei überlagert und erzeugen in der Addition das gewünschte Tiefendosisprofil.

Damit in der Überlagerung keine Abweichungen von der Vorgabe auftreten, muß bei jeder Absorberkeildickeneinstellung eine genau definierte Ionenstrahlmenge oder Teilchenmenge auf das Target treffen. Das bedeutet, wenn die Absorberkeile zulange oder zu kurz in einer bestimmten Stellung verharren, ergeben sich Abweichungen vom gewünschten Tiefen-Dosis-Profil. Um derartige Abweichungen zu vermeiden, muß der Ionenstrahlstrom als Funktion der Zeit gemessen werden und je nach gemessener Anzahl der Ionen sind die Absorberkeile ständig mit hoher Präzision und unterschiedlicher Schrittgeschwindigkeit zu verschieben.

Da der Ionenstrahlstrom insbesondere bei Schwerionen, die durch ein Ionenbeschleunigersystem, vorzugsweise einem Synchrotron, beschleunigt wurden, nicht konstant ist, sondern sehr starke Fluktuationen zeigt, hat dieser unregelmäßige Ionenstrahlstrom zur Folge, daß die Absorberkeile 13 auch mit sehr unregelmäßiger Geschwindigkeit teilweise ruckartig verschoben werden müssen. Dies stellt eine extreme Anforderung an Präzision und Dynamik des Antriebs und der Steuerung für ein derartiges Energieabsorptionsmittel 7 dar, so daß vorzugsweise folgende Parameter einzuhalten sind:

Extraktionszeit: 2-4 sTiefendosisprofil: 2-15 cmMaximale Geschwindigkeit: 1-2 m/sBeschleunigung: $20-30 \text{ m/s}^2$ Genauigkeit: 100-200 µm

Verwendet werden dazu Absorberkeilpakete, wie sie in Fig. 6 gezeigt werden.

Um den Vorschub der Absorberkeile möglichst synchron zur gemessenen Ionenstrahlintensität zu führen, muß die Meß- und Steuerungselektronik relativ schnell reagieren. Die Reaktionszeit, also die Summe der Verzögerungszeitkonstanten von der Ionisationskammer 16, dem Stromverstärker 33 und der Schrittmotorsteuerung 35, wie in Fig. 1 gezeigt werden, ist folglich kleiner als 1 ms.

Eine geringere Anforderung an die Dynamik wird für den Randbegrenzer 20 gefordert. Bild 7 zeigt einen Randbegrenzer in Ruhestellung. Er besteht in diesem Beispiel aus sechs einzelnen rechteckigen Wolframplatten 45 bis 50, die individuell in Richtung auf das Zentrum aus ihrer in Fig. 7 gezeigten Ruhestellung geschoben werden können. Dazu sind die Wolframplatten 45 bis 50 in ihrer Höhe versetzt angeordnet, so daß sie sich beim Zusammenschieben nicht behindern. Nähert sich der Ionenstrahl dem Rand eines Tumorgewebes, bzw. Zielvolumens 5, so kann die entsprechende Randblende 19, wie in Fig. 8 gezeigt, verschoben werden, so daß eine scharfe Randbegrenzung für den relativ breiten Ionenstrahl ermöglicht wird. Im Prinzip kann bereits durch drei in der Höhe gestaffelte Blenden aus rechteckigen Wolframplatten ein beliebiger Rand des Gewebes begrenzt werden, jedoch haben sechs Platten den Vorteil der größeren Variationsmöglichkeit.

Fig. 9 zeigt eine Prinzipskizze eines luftgelagerten Linearmotors 8, auf dem jeweils ein Absorberpaket 18 eines Energieabsorptionsmittels 7 befestigt werden kann. Ein derartiger Linearmotor ist ein permanent-erregter Zweiphasen-Reluktanzmotor und besteht aus zwei Baueinheiten, dem ortsfesten Stator 51 und einem luftgelagerten beweglichen Teil dem Läufer 52.

Ein Läufer beinhaltet mindestens zwei Magnetsysteme 53 und 54 mit je einem Permanentmagneten 55 als Konstantflußquelle. Durch

einen Stromfluß in den Wicklungen 56 kann der magnetische Fluß in den Schenkeln gesteuert werden, das bedeutet, in einem Schenkel wird ein Fluß verstärkt und in dem zugehörigen anderen Schenkel geschwächt. Eine Kraftwirkung in Bewegungsrichtung resultiert aus der Energieänderung des magnetischen Feldes im Luftspalt zwischen Stator 51 und Läufer 52. Werden die beiden Wicklungen der Magnetsysteme 53 und 54 mit seitlich versetzten sinusförmigen Strömen betrieben, wird ein Gleichlaufverhalten bzw. eine bestimmte Position für jedes Stromverhältnis erreicht. Das Läuferelement ist in X-Richtung angeordnet, so daß lineare Bewegungen erfolgen können. Das Statorelement 51 besteht aus strukturierten Weicheisenstreifen, die auf Stahlkörpern, Mineralguß, natürliches Hartgestein oder auch auf leichte Glasfaser oder Kohlenstoffaserhohlkörper aufgeklebt werden.

Zur Erreichung einer aerostatischen Luftlagerung ist jeder Läufer 52 mit Luftlagerdüsen ausgestattet. Aufgrund elektromagnetischer Kraftwirkung zwischen Läufer 52 und Stator 51 ist die Luftlagerung stark vorgespannt, so daß bei Betriebsdruck der Luftspalt sehr konstant ist. Die Lebensdauer ist vorteilhafterweise prinzipiell unbegrenzt, denn Reibung und Verschleiß treten nicht auf. Schmiermittel sind auch nicht erforderlich. Das erleichtert die vorzugsweise Anwendung in medizinischen Bereichen.

Für eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen IonenstrahlAbtastsystems wurde der Linearmotor so ausgelegt, daß sich zwei
Motoren auf demselben Stator in entgegengesetzter Richtung in
Pfeilrichtung A, wie in Fig. 1 gezeigt, bewegen. Dazu hat der
Stator die Maße 64 mm x 64 mm x 1 m Länge, wovon nur etwa 50 cm
Länge für den Tiefenscanner benötigt werden. Ferner besitzt der
Stator eine Lamellenstruktur mit einer Periode von 1,28 mm. Die
Motoren sind luftgelagert und arbeiten im Prinzip wie eine Magnetschwebebahn. Die technischen Daten der Motoren sind:

Masse: 700 q Maximale Haltekraft: 100 N Maximale Geschwindigkeit: 2 m/sMaximale Beschleunigung: 40 m/s^2 Positioniergenauigkeit: 10 µm Wiederholgenauigkeit: 3 µm Führungsgenauigkeit: 5 µm Luftdrucklagerung: 3,5 bar

Die Schrittmotoransteuerung 35, wie sie in Fig. 1, Position 35 gezeigt, wird, ist für einen Tiefenscanner bzw. einen Tiefenmodulator vorteilhaft geeignet. Die Schrittmotorsteuerung 35 hat eine einfache effektive Schnittstelle, die im wesentlichen nur aus 2 TTL-Eingängen 80, 81 besteht, die einen Schrittbefehl oder einen Richtungsbefehl geben. Bei einem Schrittbefehl werden mit jedem einlaufenden TTL-Impuls an einem ersten Eingang 80 die Motorströme der Leistungsstufe so geändert, daß sich die Motoren gegenläufig um 20µm in diesem Ausführungsbeispiel weiterbewegen. für einen Richtungsbefehl bestimmt der Pegel (TTL) an dem zweiten Eingang 81 die Richtung, nämlich auseinanderlaufend oder zusammenlaufend.

Die Ionisationskammer 16, wie sie aus in Fig. 1 gezeigt wird, gibt die Anzahl der Teilchen (Schwerionen) an, die pro Sekunde vom Beschleuniger extrahiert werden. Diese Größe unterliegt starken zeitlichen Schwankungen und muß deshalb in Echtzeit gemessen werden. Eingesetzt wird hierzu eine Parallelplatten-Transmissions-Ionisationskammer mit ca. 1cm Gasstrecke (Stickstoff-CO2-Gemisch, 80 % : 20 %), die bei 1600 V betrieben wird. Der Strom, der am Ausgang der Kammer gemessen werden kann, ist bei feststehender Teilchenenergie proportional zum Strahlstrom. Bei typischen Strahlströmen des Beschleunigers liegen die Ströme aus der Ionisationskammer im Bereich von μ A.

Die Ansprechgeschwindigkeit des Detektors wird durch die Driftzeit der ionisierten Detektorgasmoleküle (Ionenrümpfe) in der Ionisationskammer 16 begrenzt und hat eine Verzögerungskonstante von ca. $100~\mu s$.

Die Meßelektronik im Stromverstärkerblock 33 wandelt den Strom aus der Ionisationskammer in eine proportionale Frequenz von TTL-Impulsen um. Aus dem Stromsignal wird ein Spannungssignal im Voltbereich erzeugt. Durch eine Amplitudenfrequenzumwandlung werden aus dem Spannungssignal TTL-Impulse erzeugt, deren Frequenz proportional zur Spannung ist. Dabei entsprechen 4 MHz etwa 10 V.

Bei gegebener Verstärkung des Stromverstärkers 33 der Fig. 1 entspricht demnach ein TTL-Impuls einer bestimmten Ladung, die in der Ionisationskammer erzeugt wurde. Diese wiederum wurde von einer bestimmten Teilchenzahl erzeugt. Die Anzahl der erzeugten TTL-Impulse ist also proportional zur Anzahl der Schwerionen, die durch die Ionisationskammer 16 fliegen. Der Proportionalitätsfaktor läßt sich experimentell auf ± 3 % genau bestimmen und hängt von der Teilchenenergie und der Verstärkung ab.

Die Impulssteuerung 34 in Fig. 1 ist im Prinzip ein variabler Impulsratenumsetzer. Die Steuerung hat einen Speicher, der in mehrere Bereiche eingeteilt werden kann. Über den angeschlossenen PC kann vor der Bestrahlung in die einzelnen Bereiche jeweils eine Zahlenreihe geladen werden. Die Anzahl der Zahlen entspricht der Anzahl der Positionen, die die Linearmotoren für einen tiefen Scan einnehmen sollen. In der Praxis sind dies einige tausend Positionen pro Bereich.

Wenn die Bestrahlung gestartet wird, zählt die Impulssteuerung die Impulse, die von der Meßelektronik kommen, und gibt ihrerseits einen Impuls an die Schrittmotorsteuerung 35 aus, wenn die Impulszahl für die erste Position erreicht wird. Dann wird der Zähler auf 0 zurückgesetzt und wiedergezählt, bis die Pulszahl für die zweite Position erreicht wird, worauf wieder ein TTL-Impuls ausgegeben wird. Dieses wiederholt sich, bis die letzte Position erreicht wurde. Dann gibt die Impulssteuerung ein Stop-Signal an die Beschleuniger, woraufhin die Strahlextraktion in wenigen µs abgebrochen wird.

Direkt im Anschluß daran kann der nächste Speicherbereich mit einer anderen Zahlenreihe aktiviert werden, um einen anderen Tiefenscan zu fahren. Der Rechner 60 dient zum Laden der Zahlenreihen in die Pulssteuerung. Außerdem kann der Rechner über eine Indexkarte die Schnittmotorsteuerung 35 direkt ansteuern. Damit können vor dem eigentlichen Tiefenscan die Motoren automatisch in ihre Referenzposition oder Startposition bewegt werden.

Fig. 10 zeigt eine zweite Ausführungsform der Erfindung. Der Tiefenscanner 70 entspricht dabei dem Tiefenscanner in Bauform und Wirkungsweise der Fig. 1. Jedoch wird in dieser bevorzugten Anwendung ein Gantry-System eingesetzt, das den Ionenstrahl 3 um eine Gantryrotationsachse 28 rotieren lassen kann. Mit dem Tiefenmodulator oder Tiefenscanner 70 kann das Zielvolumen 5 in Säulenform abgetastet werden und durch Drehen des Gantry-Systems um wenige Winkelgrade kann das Zielvolumen seitlich abgetastet werden. Ein besonderer Vorteil dieser Anordnung ist die Möglichkeit, das Zielvolumen oberhalb des Isozentrums 29 des Gantry-Systems 27 anzuordnen. Damit wird der Einlaufkanal für den Ionenstrahl stromaufwärts divergent, das bedeutet, daß sowohl die Haut eines Patienten als auch das gesunde Gewebe weniger belastet wird, weil die Ionenstrahl-Bestrahlung im Be-

reich oberhalb des Zielvolumens 5auf ein größeres Volumen verteilt wird. Durch den Einsatz des Gantry-Systems nach Abbildung 10 muß der Zielvolumenträger 30 nur noch in eine Richtung bewegt werden, vorzugsweise in Richtung der Gantryrotationsachse 28, wie es die Pfeilrichtungen C zeigen.

Fig. 11 zeigt eine Prinzipskizze der Anordnung eines Zielvolumens 5 in der Ausführungsform nach Fig. 10 oberhalb des Isozentrums 29. Deutlich erkennbar ist in dieser Prinzipskizze die Gantryrotationsrichtung D, in der das Zielvolumen 5 nacheinander säulenförmig mit Hilfe des Tiefenscanners 70 tiefengescannt wird. Für jedes Volumenelement 9 wird die Anzahl der Ionen in der Ionisationskammer 16 gemessen und in der Nähe der Ränder des Tumorgewebes kann mit Hilfe der Randbegrenzung 20 ein scharfer Randabfall, falls erforderlich, eingestellt werden. Deutlich erkennbar ist auch, daß sich die Bestrahlung des gesunden Gewebes 10 über dem Tumorgewebe auf ein größeres Volumen verteilt, so daß die Strahlenbelastung dews gesundes Gewebes verringert wird.

Während bei diesem System, das in den Figuren 10 und 11 dargestellt wird, der Zielvolumenträger 30 zur vollständigen Bestrahlung des Zielvolumens in Längsrichtung bewegt werden muß, zeigt Fig. 12 eine Prinzipskizze einer dritten Ausführungsform der Erfindung, bei der nach dem Ausrichten des Targetvolumens in Relation zu dem Isozentrum keine weitere mechanische Bewegung des Zielvolumens erforderlich ist. Bei der Ausführungsform nach Fig. 12 wird anstelle des Zielvolumenträgers der Ionenstrahl mit Hilfe der Ablenkungsmagnete 23, 24 und 25 der Ionenstrahlführung in dem Gantry-System in der Strahlführungsebene des Gantry-Systems abgelenkt, was keinen erheblich größeren Aufwand für die Ströme in den Ablenkungsmagneten bedeuten, zumal eine Neukonstruktion der Ablenkungsmagnete nicht erforderlich ist, da der Ionenstrahl in Richtung des Dipolspaltes der

WO 00/49624 PCT/EP00/01149

letzten Ablenkungsmagnete abgelenkt würde. Bei diesem System kommt der gleiche Tiefenscanner 70, wie bei der ersten und zweiten Ausführungsform der Erfindung nach Fig.l und Fig. 10 zum Einsatz.

Patentansprüche

 Ionenstrahl-Abtastsystem mit einer Ionenquelleneinrichtung, einem Ionenbeschleunigersystem und einer Ionenstrahlführung (1) mit Ionenstrahl-Austrittsfenster (2) für einen konvergierenden zentrierten Ionenstrahl (3) und einem mechanischen Ausrichtsystem (4) für das abzutastende Zielvolumen (5),

dadurch gekennzeichnet,

daß das Ionenbeschleunigersystem auf eine für eine maximale Eindringtiefe notwendige Beschleunigung der Ionen einstellbar ist und das Abtastsystem (6) ein Energieabsorptionsmittel (7) aufweist, das in dem Ionenstrahlengang zwischen Zielvolumen (5) und Ionenstrahl-Austrittsfenster (2) quer zum Ionenstrahlzentrum angeordnet ist und quer zum Ionenstrahlzentrum zur Variation der Ionenstrahlenergie verschieblich ist, so daß eine Tiefenmodulation des Ionenstrahls (1), die mittels Linearmotor (8) unter Querverschiebung des Energieabsorptionsmittels (7) erfolgt, im Zielvolumen (5) mit einer in der Tiefe gestaffelten Abtastung von Volumenelementen (9) des Zielvolumens (5) in schneller Folge durchführbar ist.

2. Ionenstrahl-Abtastsystem nach Anspruch 1, dadurch gekenn-zeichnet, daß das Zielvolumen (5) ein von gesundem Gewebe (10) umgebenes Tumorgewebe (11) ist, wobei die Eindringtiefe (12) des Ionenstrahls (3) durch die Energie der Ionen im Ionenstrahl (3) bestimmt ist und mittels der einstellbaren Beschleunigung der Ionen der tiefste Bereich des Tumorgewebes (11) erreichbar ist.

- 3. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsmittel (7) quer zum Ionenstrahlzentrum (17) verschiebliche Absorberkeile (13) aufweist, die mit einem leistungsstarken Linearmotor (8) angetrieben werden, so daß eine strahlintensitäts-kontrollierte Tiefen-Rasterung vollzogen werden kann.
- 4. Ionenstrahl-Abtastsystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Abtastsystem ein elektronisches Steuersystem (14, 34) für den Linearantrieb der Absorberkeile (13) aufweist und eine Ionisationskammer (16) zum Messen der Teilchenrate des Strahles umfaßt und die Absorberkeile (13) nach Erreichen einer vorbestimmten Teilchenzahl, die für jeden Tiefenschritt verschieden sein kann, um einen Schritt, vorzugsweise von 10 µm bis 100 µm weiter zusammenfährt, so daß eine in der Tiefe gestaffelte Abtastung von Volumenelementen (9) des Zielvolumens (5) möglich ist.
- 5. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsmittel (7) mindestens zwei quer zum Ionenstrahlzentrum entgegengesetzt verschiebliche Absorberkeile (13) aufweist.
- 6. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsmittel (7) zwei quer zum Ionenstrahlzentrum (17) gegeneinander verschiebliche Absorberkeilpakete (18) aufweist.
- 7. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das System einen Randbegrenzer (20) mit verschieblichen Blendenelementen (21) zwischen dem Zielvolumen (5) und dem Energieabsorptionsmittel (7) aufweist.

- 8. Ionenstrahl-Abtastsstem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Abtastsystem irisblendenartig einzeln verstellbare Randblenden (19) zur teilweisen Randbegrenzung des Ionenstrahls (3) in bezug auf das Zielvolumen aufweist.
- 9. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Patiententisch (22) aufweist, der das Zielvolumen (5) trägt und der während eines Bestrahlungsvorganges in einer Ebene quer zum Ionenstrahl (3) in zwei Koordinateneinrichtungen verschiebbar ist.
- 10. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Patiententisch (22) aufweist, der das Zielvolumen (5) trägt und der während eines Bestrahlungsvorganges in einer lateralen Richtung quer zum Ionenstrahl (3) verschiebbar ist und Ablenkungsmagnete (23, 24, 25) aufweist, der den Ionenstrahl (1) aus seiner Mittenposition am Austrittsfenster (2) quer zur lateralen Richtung des Patiententisches (22) ablenkt.
- 11. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität der Ionenstrahlabtastung durch die Summenzahl der Ionen, die in einem Volumenelement (9) auftreffen, definiert ist.
- 12. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Ionisationskammer (16) zur Messung der Strahlintensität aufweist, die stromaufwärts vom Energieabsorptionsmittel (7) angeordnet ist.

- 13. Ionenstrahl-Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Patiententisch (22) aufweist, der das Zielvolumen (5) trägt und während einer Bestrahlung in einer lateralen Richtung quer zum Ionenstrahl (3) verschiebbar ist und ein Gantry-System (27) aufweist, das quer zur lateralen Bewegungsrichtung des Patiententisches (22) um eine Gantryrotationsachse drehbar ist.
- 14. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System (27) zum Ausrichten eines Ionenstrahls (3) auf ein Zielvolumen (5) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Ionenstrahl (3) in der Gantryrotationsachse (28) dem Gantry-System (27) zugeführt und mittels Magnetoptiken (23, 24, 25) unter einstellbaren Winkeln von 0 bis 360° in einer Ebene orthogonal zur Gantryrotationsachse (28) auf ein Zielvolumen (5) ausrichtbar ist, so daß der Ionenstrahl (3) die Gantryrotationsachse (28) in einem Isozentrum (29) des Gantry-Systems (27) schneidet, wobei das Gantry-System (27) einen lateral in Richtung der Gantryrotationsachse (28) verschieblichen Zielvolumenträger (30) aufweist, das Zielvolumen (5) stromaufwärts des Isozentrums (29) angeordnet ist und ein Energieabsorptionsmittel (7), das stromaufwärts in Radialrichtung des Gantry-Systems (27) angeordnet ist, eine Volumenelementrasterung in Tiefenrichtung das Gantry-System (27) eine Drehwinkel-Volumenelementrasterung in Seitenrichtung und der lateral verschiebliche Zielvolumenträger (30) eine Volumenelementrasterung in Längsrichtung definieren und beliebig geformte Zielvolumen (5) durch Kombination dieser drei Rastermittel volumenelementweise rasterbar ist.
- 15. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Zielvolumenträger (30) während der Bestrahlung unbewegt bleibt und Umlenkma-

- gneten (23, 24, 25) den Ionenstrahl (3) während der Bestrahlung in der Gantry-Ebene ablenkt.
- 16. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsmittel (7) tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems (27) verschiebliche Absorberkeile (13) aufweist.
- 17. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsmittel (7) mindestens zwei tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems (27) entgegengesetzt verschiebliche Absorberkeile (13) aufweist.
- 18. Ionenstrahl-Abtastsstem mit Gantry-System nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsmittel (7) radial gestaffelte tangential zum Drehkreis des Gantry-Systems (27) verschiebliche Absorberkeilpakete (18) aufweist.
- 19. Ionenstrahl-Abtastsystem mit Gantry-System nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein zentraler Bereich des Zielvolumens (5) um mindestens ein Fünftel des Gantry-Systemradius stromaufwärts des Isozentrums (29) angeordnet ist, so daß das Zielvolumen (9) selbst nicht im Isozentrum (29) liegt.
- 20. Verfahren zum Ionenstrahl-Abtasten mittels einer Ionenquelleneinrichtung, einem Ionenbeschleunigersystem und einer Ionenstrahlführung (1) mit Ionenstrahl-Austrittsfenster (2) für einen konvergierenden zentrierten Ionenstrahl (3) und einem mechanischen Ausrichtsystem (4) für das abzutastende Zielvolumen (5),

gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

- Einstellen des Ionenbeschleunigersystems auf eine für eine maximale Eindringtiefe (12) notwendige Beschleunigung der Ionen,
- Erfassen der Ionenstrahlintensität,
- Querverschieben eines Energieabsorbtionsmittels (7) mit unterschiedlicher Materialstärke zur Tiefenmodulation des Ionenstrahls (3),
- Aufsummieren der Bestrahlungsionen eines Volumenelements (9) eines Zielvolumens (5) bis zu einer vorgegebenen Bestrahlungsdosis,
- Ändern der Eindringtiefe des Ionenstrahls (3) mittels Querverschiebung des Energieabsorptionsmittels (7) nach Erreichen der vorgegebenen Bestrahlungsdosis des Volumenelementes (9) zur Bestrahlung eines nächsten stromaufwärts liegenden Volumenelementes.
- 21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß ein elektronisches Steuersystem (14) für den Linearantrieb der Absorberkeile (13) die Teilchenrate des Strahles mittels einer Ionisationskammer (16) und die Absorberkeile (13) nach Erreichen einer vorbestimmten Teilchenrate, die für jeden Tiefenschritt unterschiedlich sein kann, um einen Schritt, vorzugsweise um 10 bis 100 μm, weiter zusammenfährt, so daß eine in der Tiefe gestaffelte Abtastung von Volumenelementen (9) des Zielvolumens (5) erfolgt.
- 22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität zwischen 10⁶ und 10⁸ absorbierten Ionen pro Volumeneinheit beim Abrastern des Zielvolumens (5) eingestellt wird.

- 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung des Zielvolumenvolumens (5) kontinuierlich fortschreitet.
- 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung des Zielvolumenvolumens (5) in Tiefenrichtung säulenförmig erfolgt.
- 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung des Zielvolumenvolumens (5) schrittweise fortschreitet.
- 26. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung des Zielvolumenvolumens (5) in Tiefenrichtung kontinuierlich und in Seitenrichtung und Längsrichtung schrittweise erfolgt.
- 27. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung des Zielvolumenvolumens (5) in Tiefenrichtung und Seitenrichtung kontinuierlich und in Längsrichtung schrittweise erfolgt.
- 28. Verfahren zum Betreiben eines Ionenstrahl-Abtastsystems nach einem der Ansprüche 20 bis 27 unter Verwendung eines Gantry-Systems (27) zum Ausrichten eines Ionenstrahls (3) auf ein Zielvolumen (5), wobei der Ionenstrahl (3) in der Rotationsachse dem Gantry-System (27) zugeführt und mittels Magnetoptiken (23, 24, 25) unter einstellbaren Winkeln von 0 bis 360° in einer Ebene orthogonal zur Gantryrotationsachse (28) auf ein Zielvolumen (5) ausgerichtet wird, so daß der Ionenstrahl (3) die Gantryrotationsachse (28) in einem Isozentrum (29) des Gantry-Systems (27) schneidet, wobei das Gantry-System (27) einen lateral in Richtung der

Gantryrotationsachse (29) verschieblichen Zielvolumenträger (30) aufweist,

gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

Anordnen des Zielvolumens (5) stromaufwärts des Isozentrums (29),

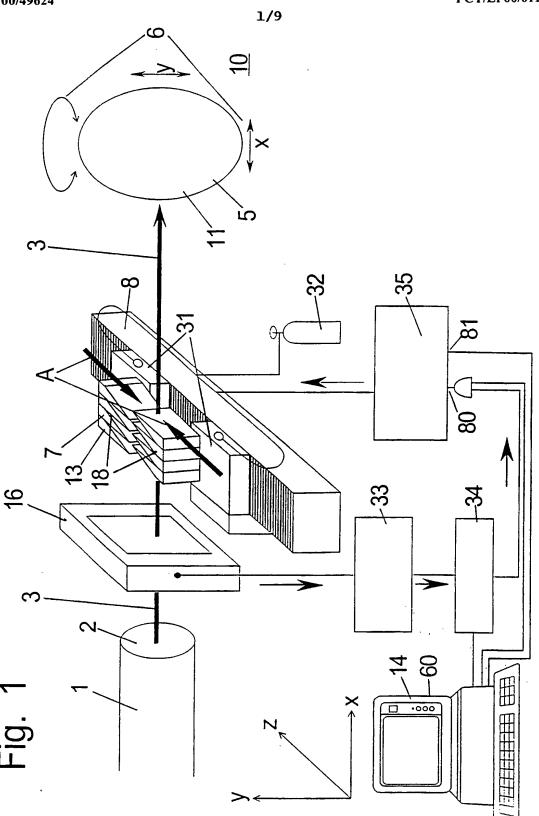
Volumenelementrastern in Tiefenrichtung mittels eines Energieabsorptionsmittels (7), das stromaufwärts in Radialrichtung des Gantry-Systems (27) angeordnet ist,

Volumenelementrastern in Seitenrichtung mittels Drehwinkeländerung des Gantry-Systems (27) und

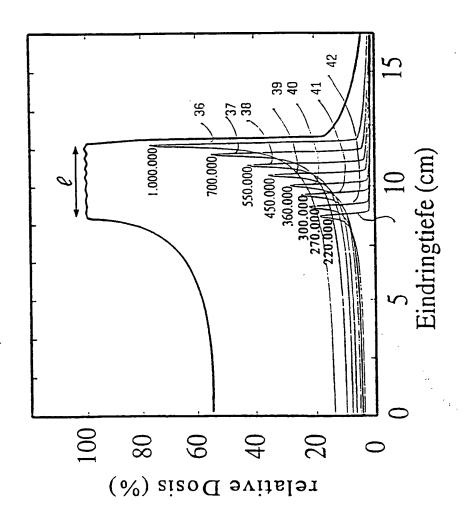
Volumenelementrastern in Längsrichtung mittels Lateralverschiebung des Zielvolumenträgers (30).

29. Verfahren zum Betreiben eines Ionenstrahl-Abtastsystems nach einem der Ansprüche 20 bis 27 unter Verwendung eines Gantry-Systems (27), bei dem ein Zielvolumenträger (30) vor der Bestrahlung ausgerichtet wird und während der Bestrahlung unbeweglich bleibt und der Ionenstrahl (3) mittels der letzten Gantry-Umlenk-Magnete (23, 24, 25) in der Gantry-Ebene zur Volumenelementrasterung in Längsrichtung abgelenkt wird.

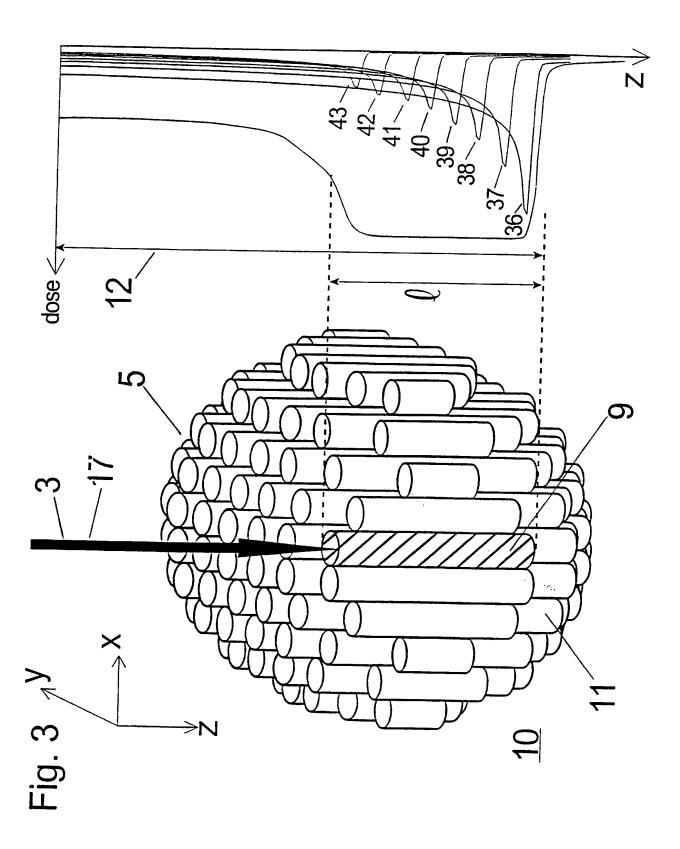
OLISH WALLAND THE FEDWAR SHALL



OLEGI WANT TO JETVE SHILL

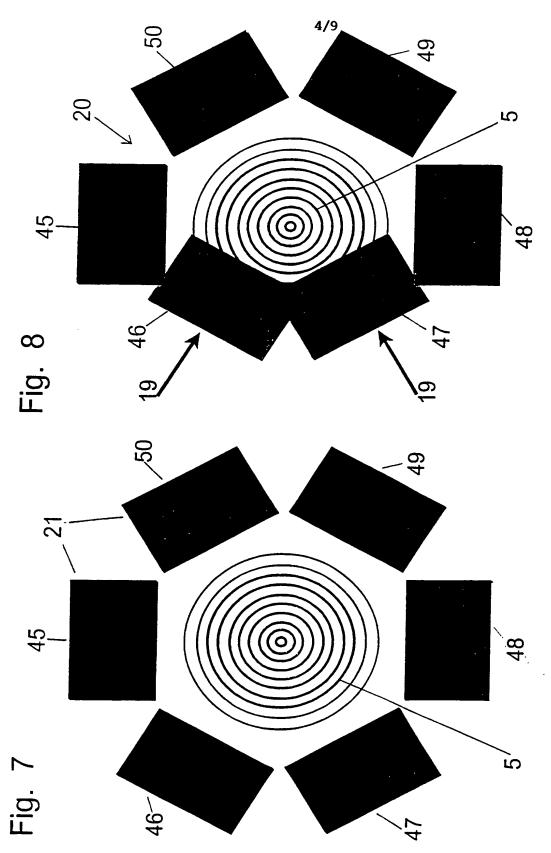


TEN MARIE BARKSHIL



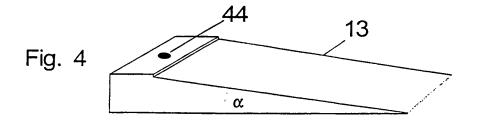
ALIB BOAG SIHT

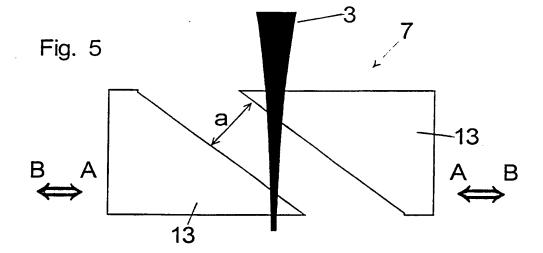
WO 00/49624 PCT/EP00/01149

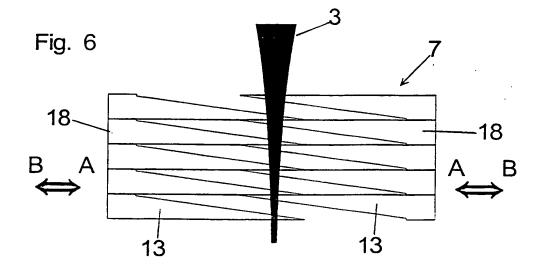


ERSATZBLATT (REGEL 26)

WARA TO A SINT

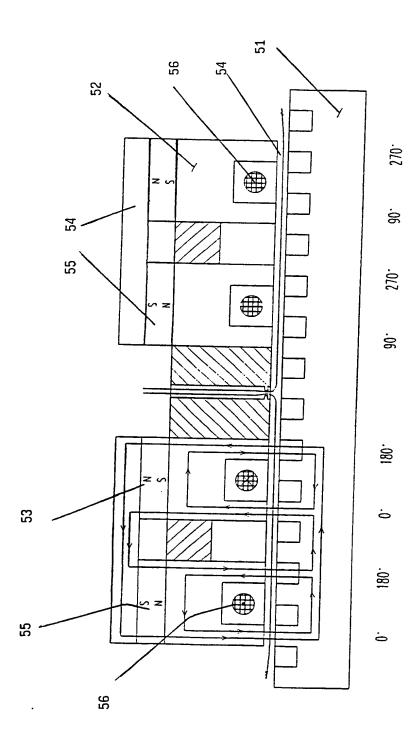






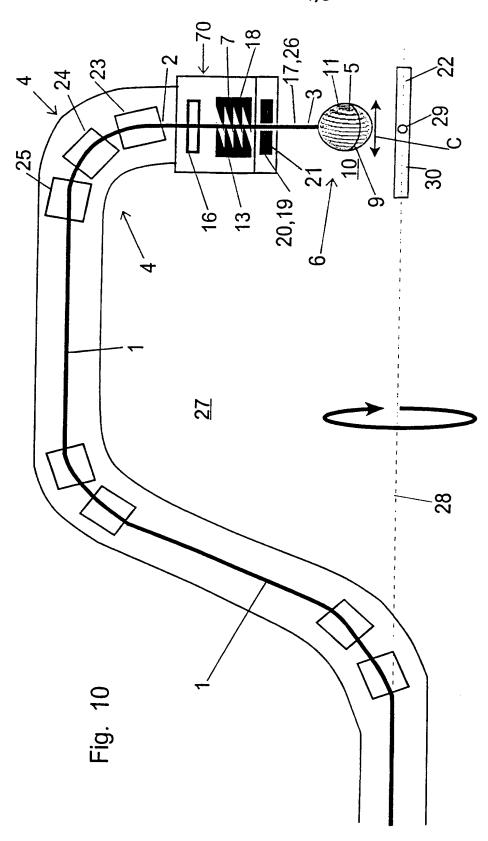
ERSATZBLATT (REGEL 26)

With Mary 18 Fland SIHT



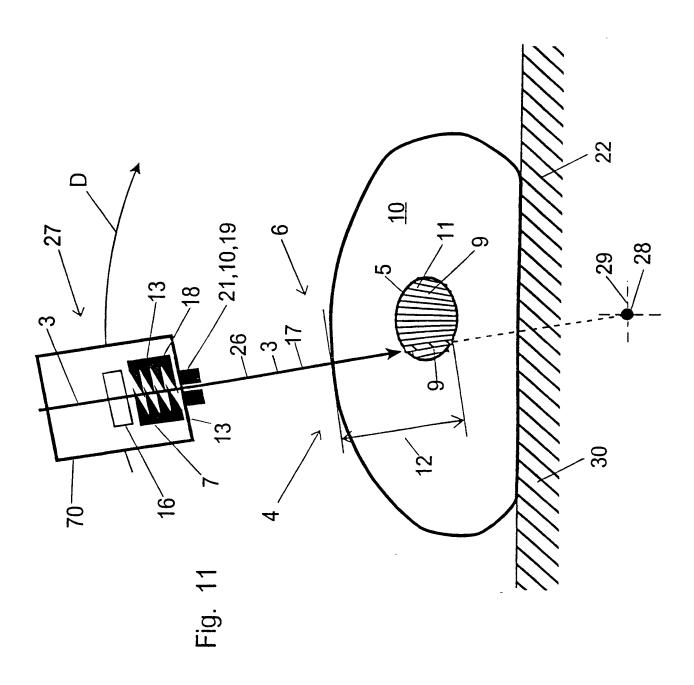
ر ان ان

COLUMNATE BANG SINT



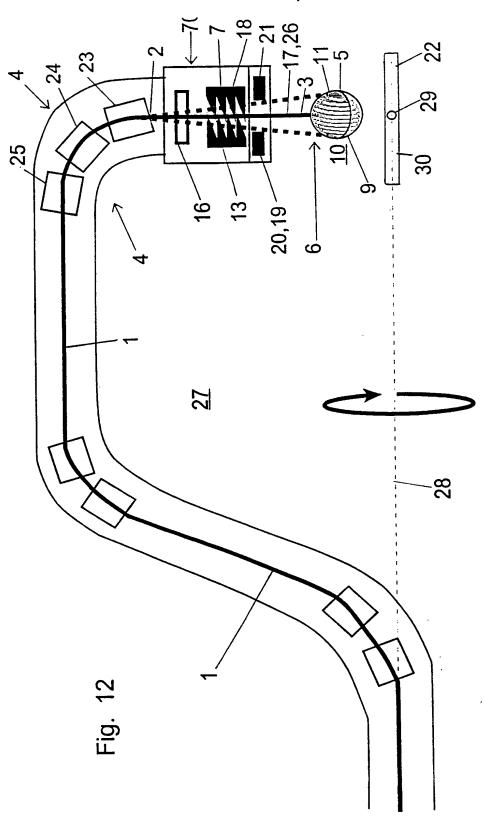
ERSATZBLATT (REGEL 26)

OLUSON WINTE JOYA SINL



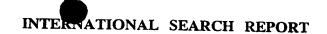
ERSATZBLATT (REGEL 26)

WASH MARLE BLANK WSPTON



ERSATZBLATT (REGEL 26)

WASH WILL BLANK WSPID



Inte onal Application No

PCT/EP 00/01149 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G21K1/04 A61N A61N5/10 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC **B. FIELDS SEARCHED** Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G21K A61N Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) WPI Data, PAJ C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages Relevant to claim No. χ EP 0 779 081 A (HITACHI LTD) 1-3,5,2018 June 1997 (1997-06-18) column 3, line 5 - line 15 Υ column 3, line 51 - line 56 6,9 column 4, line 44 - line 48 column 5, line 33 - line 37 column 7, line 54 -column 8, line 12 Α figures 1,6 4,10,11, 13-15, 21,28,29 EP 0 417 965 A (GEN ELECTRIC) 6 20 March 1991 (1991-03-20) column 9, line 37 -column 10, line 39 figures 5-7A -/--Further documents are listed in the continuation of box C. Х Patent family members are listed in annex. Special categories of cited documents : "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance earlier document but published on or after the international "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) involve an inventive step when the document is taken alone document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "&" document member of the same patent family Date of the actual completion of the international search Date of mailing of the international search report 30 June 2000 06/07/2000 Name and mailing address of the ISA Authorized officer European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nt. Fax: (+31-70) 340-3016 Capostagno, E



-	
	_

Inti ional Application No
PCT/EP 00/01149

C.(Continua	ation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT	
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Υ	GB 1 362 678 A (VARIAN ASSOCIATES) 7 August 1974 (1974-08-07) page 2, line 54 - line 66 figure 1	9
A	WO 96 19262 A (ELEKTA AB ;BACKMAN PER (SE)) 27 June 1996 (1996-06-27) page 2, line 13 -page 3, line 23 figure 3	7
Α	EP 0 094 278 A (THOMSON CSF) 16 November 1983 (1983-11-16) the whole document	8
Α	EP 0 223 432 A (WANG SHIH PING) 27 May 1987 (1987-05-27) column 11, line 46 -column 12, line 5 figure 8	1,3,20
	·	



0

Information on patent family members

Int. ional Application No PCT/EP 00/01149

					i	
cite	atent document d in search repo	rt	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP	0779081	Α	18-06-1997	JP	2833602 B	09-12-1998
				JP	9223600 A	26-08-1997
					·	20-00-199/
ΕP	0417965	Α	20-03-1991	US	4998270 A	05-03-1991
				CA	2014920 A	06-03-1991
				JP	1848981 C	07-06-1994
				JP	3149036 A	25-06-1991
				JP	5055131 B	16-08-1993
GR.	1362678	Α	07-08-1974		022002	
u D	1302070	^	07-00-1974	CA	932883 A	28-08-1973
				DE	2158535 A	08-06-1972
				FR	2115423 A	07-07-1972
				IT	941769 B	10-03-1973
				NL	7116402 A	30-05-1972
				US	3720817 A	13-03-1973
				CA	939081 A	25-12-1973
				GB	1362679 A	07-08-1974
				US	3783251 A	01-01-1974
				CA	951031 A	09-07-1974
				US	3777124 A	04-12-1973
WO	9619262	Α	27-06-1996	SE	508661 C	26-10-1998
				EP	0843578 A	27-05-1998
				SE	9404405 A	20-06-1996
EP	0094278	Α	16-11-1983	FR	2526215 A	04-11-1983
				DE	3361543 D	30-01-1986
				US	4510613 A	09-04-1985
ΕP	0223432	Α	27-05-1987	CA	1244971 A	1E 11 1000
		••	27 03 1307	JP	2913425 B	15-11-1988 28-06-1999
				JP	5329138 A	
				JP	2562734 B	14-12-1993
				JP	5329139 A	11-12-1996
				JP	2849879 B	14-12-1993
			•	JP		27-01-1999
				JP	5329140 A 5080906 B	14-12-1993
				JP	62129034 A	10-11-1993
			•	JP		11-06-1987
				US	11164828 A	22-06-1999
				US	4953189 A 5054048 A	28-08-1990 01-10-1991

THIS PAGE BLANK (USPTO)

In. .tionales Aktenzeichen PCT/EP 00/01149

A KLAS	SIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		00,01143		
ÎPK 7	G21K1/04 A61N5/10				
Nach der I	ntemationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen	Klassifikation und der IPK			
B. RECH	ERCHIERTE GEBIETE				
Recherchii	erter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssy	mbole)			
11/6 /	G21K A61N				
Recherchie	erte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen	s, soweit diese unter die recherchierten Geb	iete fallen		
Während d	er internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank	k (Name der Datenhank und eidt vanvoork	to Could be all		
	ata, PAJ		o de begine)		
C. ALS W	ESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN				
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Ang	abe der in Betracht kommenden Teile	Potr Assessed N		
		,	Betr. Anspruch Nr.		
Χ	EP 0 779 081 A (HITACHI LTD) 18. Juni 1997 (1997-06-18) Spalte 3, Zeile 5 - Zeile 15		1-3,5,20		
Υ	Spalte 3, Zeile 51 - Zeile 56		6.0		
	Spalte 4, Zeile 44 - Zeile 48	•	6,9		
	Spalte 5, Zeile 33 - Zeile 37				
Α	Spalte 7, Zeile 54 -Spalte 8, Ze	eile 12			
^	Abbildungen 1,6		4,10,11,		
			13-15, 21,28,29		
Υ	EP 0 417 965 A (GEN ELECTRIC) 20. März 1991 (1991-03-20) Spalte 9, Zeile 37 -Spalte 10, Z Abbildungen 5-7A	Zeile 39	6		
1		-/			
entrie	ere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu hmen	X Siehe Anhang Patentfamilie			
 Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen *A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen *T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden 					
Aimeiu	okument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen edatum veröffentlicht worden ist	meone angegeben ist			
L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer andere im Reisen veröffentlichungsdatum einer					
anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund anzeite belegt werden "Y" Veröffentlichung von besonderen Redeutung: die begenzungte Schiedung					
O" Veröffent	lichung, die sich auf eine mündliche. Offenbar von	werden, wenn die Veröffentlichung mi	Aipor odor mobreson and area		
P" Veröffent dem bea	indzung, eine Ausstellung oder andere Maßnatimen bezieht lichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach anspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist	Veröffentlichungen dieser Kategorie ir diese Verbindung für einen Fachmanr "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselber	Nerbindung gebracht wird und Naheliegend ist		
Datum des Ab	oschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Re			
	. Juni 2000	06/07/2000			
iame und Po	ame und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Bevollmächtigter Bediensteter				
	Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk				
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016 Capostagno, E					



Int donates Aktenzeicher
PCT/EP 00/01149

	į t	CT/EP 00/	01149
C.(Fortsetz	ung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommende	en Teile	Betr. Anspruch Nr.
Υ	GB 1 362 678 A (VARIAN ASSOCIATES) 7. August 1974 (1974-08-07) Seite 2, Zeile 54 - Zeile 66 Abbildung 1		9
A	WO 96 19262 A (ELEKTA AB ;BACKMAN PER (SE)) 27. Juni 1996 (1996-06-27) Seite 2, Zeile 13 -Seite 3, Zeile 23 Abbildung 3		7
A	EP 0 094 278 A (THOMSON CSF) 16. November 1983 (1983-11-16) das ganze Dokument		8
Α .	EP 0 223 432 A (WANG SHIH PING) 27. Mai 1987 (1987-05-27) Spalte 11, Zeile 46 -Spalte 12, Zeile 5 Abbildung 8		1,3,20

onales Aktenzeicnen

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören PCT/EP 00/01149

Im Recherchen angeführtes Paten		Datum der Veröffentlichung		itglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 077908	31 A	18-06-1997	JP JP	2833602 B 9223600 A	09-12-1998 26-08-1997
EP 041796	55 A	20-03-1991	US CA JP JP JP	4998270 A 2014920 A 1848981 C 3149036 A 5055131 B	05-03-1991 06-03-1991 07-06-1994 25-06-1991 16-08-1993
GB 136267	78 A	07-08-1974	CA DE FR IT NL US CA GB US CA US	932883 A 2158535 A 2115423 A 941769 B 7116402 A 3720817 A 939081 A 1362679 A 3783251 A 951031 A 3777124 A	28-08-1973 08-06-1972 07-07-1972 10-03-1973 30-05-1972 13-03-1973 25-12-1973 07-08-1974 01-01-1974 09-07-1974 04-12-1973
WO 961926	62 A	27-06-1996	SE EP SE	508661 C 0843578 A 9404405 A	26-10-1998 27-05-1998 20-06-1996
EP 009427	78 A	16-11-1983	FR DE US	2526215 A 3361543 D 4510613 A	04-11-1983 30-01-1986 09-04-1985
EP 022343	32 A	27-05-1987	CA JP JP JP JP JP JP JP US US	1244971 A 2913425 B 5329138 A 2562734 B 5329139 A 2849879 B 5329140 A 5080906 B 62129034 A 11164828 A 4953189 A 5054048 A	15-11-1988 28-06-1999 14-12-1993 11-12-1996 14-12-1993 27-01-1999 14-12-1993 10-11-1993 11-06-1987 22-06-1999 28-08-1990 01-10-1991

THIS PACK BLANK USAN,